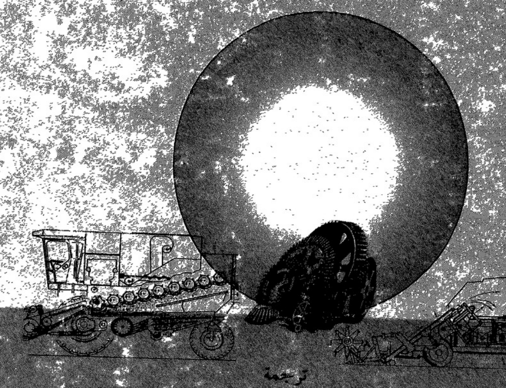
الأساسيات الهندسية للآلات الزراعية

تأليف

أجيت ك. سريفاستافا — كارول إي جوبنج — روجور ب. روربك



ترجمة

الدكتور صالح بن عبد الرحمن السحيباني
الدكتور محمد فؤاد وهبي
الدكتور عبد الله مسعد زين الدين
الدكتور عبد الرحمن الجنوبي

جامعة الملك سعود
النشر العلمي والمطابع

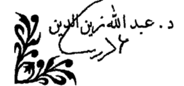


إهداء

إلى السيد الأستاذ الدكتور / مكتبه الاسكندريه

تحية مباركة طيبة، يسرنا إهدائكم نسخة من الكتاب المترجم " الأساسيات الهندسية للآلات الزراعية " ويزيدنا سروراً تلقي أي ملاحظات نأخذها في الاعتبار في الطبعات القادمة إن شاء الله،،،،،

د. عبد الله زين الدين







الأساسيات الهندسية للآلات الزراعية

تأليف

أچيت ك. سريڤاستاڤا
جامعة ولاية ميتشجان

كارول إي. چورينج
جامعة إلينوي

روجور پ. روورباك
جامعة ولاية كارولينا الشمالية

ترجمة

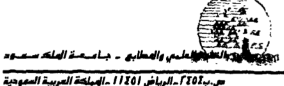
الدكتور صالح بن عبدالرحمن السحيباني
أستاذ

الدكتور محمد فؤاد وهبي
أستاذ

الدكتور عبدالله مسعد زين الدين
أستاذ مساعد

الدكتور عبدالرحمن عبدالعزيز الجنوبي
أستاذ مشارك

قسم الهندسة الزراعية - كلية الزراعة - جامعة الملك سعود





[illegible] العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب ٢٤٥٤ - الرياض ١١٤٥١ - المملكة العربية السعودية

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

سريفاستافا، اجيت ك

الأساسيات الهندسية للآلات الزراعية/ أجيت ك. سرفاستافا؛ كارول إي. جوريدج، روجور ب. روورباك؛ ترجمة صالح عبدالرحمن السحيباني . . . وآخرون.ـ الرياض.

٨٢٧ ص؛ ١٧سم × ٢٤ سم

ردمك ٢-٦٢٥-٠٥-٩٩٦٠ (جلد)

٠-٦٢٦-٠٥-٩٩٦٠ (غلاف)

١ ـ الآلات الزراعية ٢ ـ الهندسة الزراعية أ ـ جورينج، كارول إي. (م. مشارك) ب ـ روورباك، روجور ب. (م. مشارك) ج ـ السحيباني، صالح بن عبدالرحمن (مترجم) د ـ العنوان

ديوي ٣، ٦٣١ ١٨/١٦٣٤

رقم الإيداع : ١٨/١٦٣٤

حكّمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكّلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس على نشره ـ بعد اطلاعه على تقارير المحكمين ـ في اجتماعه الحادي والعشرين للعام الدراسي ١٤١٦/١٤١٧هـ الذي عقد في ٧/٢/١٤١٧هـ الموافق ٢٣/٦/١٩٩٦م.



مطابع جامعة الملك سعود ١٤١٨هـ

شكر وتقدير

يود المترجمون تقديم جزيل الشكر إلى كل من ساندهم في إتمام هذا العمل من الأهل خاصة ومن الزملاء في قسم الهندسة الزراعية جامعة الملك سعود والأقسام الأخرى، كما يسعدهم تقديم الشكر إلى الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين والسادة الأساتذة المؤلفين على الدعم المعنوي السخي الذي قدموه أثناء الترجمة.

كما يود المترجمون شكر السيد المهندس محمد فتحي شرف الباحث العلمي بقسم الهندسة الزراعية جامعة الملك سعود لما قام به من عمل متميز في صف وتنسيق مادة هذا الكتاب.

المترجمون

مقدمة المترجمين

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين، وبعد:

تتمايز الجامعات فيما بينها على عاملين، الأول: المعامل وتجهيزاتها والثاني: عدد وكفاءة أعضاء هيئة التدريس. وهذان العاملان يعتمدان على بعضهما، فلا غنى لأعضاء هيئة التدريس المتميزين عن المعامل المجهزة جيداً. ولا فائدة من وجود المعامل جيدة التجهيز بدون توافر أعضاء هيئة التدريس الأكفاء القادرين على استغلالها. ولكن لاغنى للجامعات على كافة مستوياتها عن وجود الكتاب العلمي الجيد.

وتحتاج المكتبة العربية إلى توفير العديد من الكتب الأساسية والمراجع باللغة العربية في جميع المجالات. ولذلك لابد من التوجه لترجمة بعض الكتب والمراجع الجيدة، وقد ساهم الكثير من الأساتذة الأول في مجال الهندسة الزراعية في تأليف وترجمة عدد لا بأس به من المراجع الهامة. كما توجد في بعض الجامعات العربية كتيبات لتدريس المقررات ذات العلاقة في هذا المجال إلا أنها لاتُعنى، في كثير من الأحيان، بتوضيح العمق الهندسي المطلوب لتحليل الآلات الزراعية ووسائل القدرة، كما يعتبر توفير المادة العلمية بوعاء مناسب للطالب من أهم وسائل التعليم، ويعتبر الكتاب المقرر القناة الرئيسة لتوفير المادة العلمية .

ومع توافر بعض أمهات الكتب باللغات الأجنبية، والتي تعتبر الأساس في تدريس مفهوم الجرارات والآلات الزراعية بصورة أكثر وضوحًا وتعمقًا للأسس الهندسية والتحليل الحركي لتشغيل تلك الآلات وعلاقتها بالنبات والتربة، فقد كان لزامًا أن تترجم هذه الكتب لتعم الفائدة جميع العاملين في مجال الهندسة الزراعية .

ومجال الآلات والقوى الزراعية هو أحد مجالات الهندسة الزراعية، ذلك

التخصص الذي يعنى بتطبيق العلوم الهندسية لحل مشاكل الزراعة. وقد وقع الاختيار على كتاب المبادىء الهندسية للآلات الزراعية والذي قامت بطباعته الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين لتغطية الجانب التخصصي للآلات الزراعية. حيث إن هذا الكتاب هو الأحدث، كما بُذل فيه جهود ضخمة لتأليفه من قبل نخبة من المتخصصين في مجال الآلات والقوى الزراعية.

وجاءت ترجمة هذا الكتاب بعد أن قام المختصون في مجال الآلات والقوى الزراعية بقسم الهندسة الزراعية ـ كلية الزراعة ـ جامعة الملك سعود بترجمة كتابين آخرين لنفس الغرض، الكتاب الأول هو مبادئ الآلات والقوى الزراعية، تأليف (مارشال فينر وريتشارد ستراب) لتوفير المادة العلمية للطلاب غير المتخصصين في الهندسة الزراعية. والكتاب الثاني هو كتاب قدرة المحرك والجرار، تأليف (كارول جورنج)، تحت الطبع وهو لتغطية الجانب التخصصي للقوى الزراعية.

وحرصًا من المترجمين على إظهار الكتاب بصورة جيدة، فقد اعتمدوا على المصطلحات العلمية الدارج استخدامها. وقد تم توزيع العمل على فريق الترجمة على النحو التالي: مترجم، مراجع أول، مراجع ثان، ومراجع ثالث. حيث يقوم المترجم بترجمة الفصل المخصص له وفقًا لقواعد الترجمة في جامعة الملك سعود. ويقوم المراجع الأول بمراجعة الترجمة والتدقيق عليها. وتتلخص مهمة المراجع الثاني في مراجعة الأشكال والجداول والمعادلات. واسندت إلى المراجع الثالث مهمة العناية بالتوافق اللغوي للترجمة مع ما يوجد بالفصول الأخرى كما كان هناك العديد من اللقاءات بين المترجمين لمناقشة بعض المصطلحات والاتفاق على أسلوب موحد لجميع الفصول.

وقد قام الأستاذ الدكتور صالح السحيباني بترجمة الفصول: الأول والثاني والسادس. وترجم الأستاذ الدكتور محمد فؤاد وهبي الفصول من السابع إلى التاسع بالإضافة إلى الملاحق. واسندت إلى الدكتور عبد الله مسعد زين الدين الفصول من الثالث إلى الخامس. أما الدكتور عبد الرحمن الجنوبي فقد قام بترجمة الفصول من العاشر إلى الثاني عشر.

ومع ما بذل من جهود كبيرة في ترجمة هذا الكتاب لإخراجه بأفضل صورة، إلا أن أي عمل بشري لا يخلو من النقص والخطأ. لذلك، يدعو المترجمون جميع الباحثين والمتخصصين في هذا المجال بإبلاغهم بملاحظاتهم ومقترحاتهم لتحسين الكتاب في طبعاته القادمة إن شاء الله.

المترجمون

مقدمة المؤلفين

وضع كتاب المبادئ الهندسية للآلات الزراعية في صورة كتاب دراسي لأحد المقررات في الآلات الزراعية لبرنامج هندسي. وقد صمم الكتاب ليستخدم في أحد المستويات العليا لمرحلة البكالوريوس. حيث تشمل متطلبات هذا المقرر كلاً من الاستاتيكا، مقاومة المواد، والمعادلات التفاضلية. ومع ذلك، ستكون أي معرفة بالديناميكا وميكانيكا الموائع ذات فائدة. كما يمكن استخدام الكتاب في مقرر لمستوى أدنى ولكن بدون تغطية الجزء النظري في كل فصل وبدون فقدان الاستمرارية.

أهداف هذا الكتاب هي: (١) مناقشة الطرق والمواد المستخدمة لتحقيق العمليات المختلفة المطبقة في الإنتاج الزراعي، (٢) لتقديم آلات الزراعة في صورة منظومة مكونة من عدة مكونات تؤدي وظائف مختلفة، (٣) لتقديم المبادىء الهندسية التي تحكم تشغيل الآلات المستخدمة في الإنتاج الزراعي.

نوقش المفهوم من تقسيم الآلة إلى عدة منظومات فرعية في الفصل الأول. حيث يمكن تقسيم كل آلة زراعية إلى عدة منظومات فرعية تتكون من الوظائف، القدرة، والإطار. ويركز هذا الكتاب على المنظومات الوظيفية. تناقش الفصول من الرابع إلى العاشر الآلات المستخدمة في العمليات الإنتاجية بداية من الحرث إلى الحصاد. ويغطي الفصل الحادي عشر تداول المواد، بينما تم تغطية إدارة الآلات في الفصل الثاني عشر. وقدمت في هذا الكتاب أيضًا طريقة لتدريس الآلات الزراعية عن طريق إعداد "مخطط عمليات". حيث يقسم مخطط العمليات الآلة إلى عدة عمليات وظيفية، على سبيل المثال، يمكن تقسيم آلة الرش إلى عمليات الضخ، والخلط والتقليب، والمعايرة، والترذيذ. ويستحث القائمون بالتدريس على استخدام هذه الطريقة لكونها تتيح صيغة عامة أثناء مناقشة آلات مختلفة. كما تم بذل جهد للمحافظة على تماثل

الشكل العام في الفصل الخامس وحتى الفصل الحادي عشر. قدمت المادة عمومًا تحت عناوين الطرق والمعدات، والعمليات الوظيفية، والأداء. ولا يشتمل الكتاب على المنظومات الفرعية للإطار.

يود المؤلفون أن يعبروا عن شكرهم لجميع الأفراد الذين شاركوا بطرق عديدة لإكتمال هذا الكتاب. ونود أن نبدأ بالشكر للأستاذ الدكتور المتقاعد (Robert Kepner)مؤلف كتاب "مبادىء الآلات الزراعية" لمنحنا تصريحًا مفتوحًا لاستخدام المادة الموجودة في كتابه. وقد استخدم بالفعل العديد من الأشكال، وفي مواقع خاصة استخدمت مواد بالنص الحرفي من كتابه.

كما استلت أيضًا ويكثرة رسوم من كتاب الأستاذ الدكتور (Sverker Persson) وعنوانه "ميكانيكا قطع المواد النباتية" في الفصل الثامن. كما اعتمدنا على كتاب "الكهرباء الزراعية" للمؤلفين (R.C. Mullins) و (T. C. Surbrook) للمادة المستخدمة في المحركات الكهربائية. كما نود أن نشكر كل الأفراد الذين قاموا مبكرًا بالمراجعة الدقيقة للفصول كلٍ على حدة. وهؤلاء هم الدكتور (Ken Von Bergen)، جامعة نبراسكا، والدكتور (Bob Wilkinson)، جامعة ولاية ميتشجان – فصول عن القدرة، والأستاذ الدكتور (Ralph Alcock)، جامعة ولاية داكوتا الجنوبية، والأستاذ الدكتور (Larry Wells)، جامعة كنتاكي – فصل عن الحراثة، والسيد (Dave Wolak)، شركة دير والأستاذ الدكتور (Larry Shaw)، جامعة فلوريدا – فصل عن آلات الزراعة، والأستاذ الدكتور(Loren Bode)، جامعة إلينوي، والدكتور (Fred Bouise, USDA ARS) – فصل عن توزيع الكيماويات، والدكتور (Al Rotz, USDA, ARS)، والدكتور(Kevin Shinners)، جامعة ويسكونسن – فصل عن حصاد الأعلاف، والسيد (Jim Hall) والسيد (Neil West)، شركة دير – فصل عن حصاد الحبوب، والأستاذ الدكتور (Gerald Brusewitz)، جامعة ولاية أوكلاهوما، والأستاذ الدكتور(Larry Shaw) ، جامعة فلوريدا والدكتور (David Nahir, Bet-Dagan, Israil)– فصل عن حصاد الخضراوات والفواكه، الدكتور (Ken Hellevang) من جامعة ولاية داكوتا الشمالية، والأستاذ الدكتور (Gerry Rehkugler) من جامعة كورنيل – فصل عن

تداول المواد، والأستاذ الدكتور (Jim Frisby) من جامعة ميزوري والأستاذ الدكتور (John Siemens)من جامعة إلينوي - فصل عن إدارة الآلات.

وقد قام كل من الدكتور (Steve Borgelt) من جامعة ميزوري، والأستاذ الدكتور(Mark Schrock) من جامعة ولاية كنساس، والأستاذ الدكتور (Larry Shaw) من جامعة فلوريدا، والدكتور (Kevin Shinners) من جامعة ويسكنسن، والدكتور(Dan Humburg) من جامعة ولاية داكوتا الشمالية، باستخدام نسخة من المسودة الأولية للكتاب لتدريسها في مقرراتهم وقدموا ملاحظات بناءة. كما نشكر من قام بالمراجعة الكاملة لهذا الكتاب من الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين (ASAE) والتي استكملها كل من الأستاذ الدكتور (Leonard Bashford) من جامعة نبراسكا، الدكتور(Kevin Shinners) من جامعة ويسكونسن، والدكتور(Dennis Buckmaster) من جامعة ولاية بنسلفانيا. ونحن نعتبر الملاحظات التي وضعها المراجعون ذات قيمة وبذلنا جهوداً حقيقية لوضعها في النسخة الأصلية.

إننا نشجع القائمون بالتدريس والذين يستخدمون هذا الكتاب أن يعطونا أي ملاحظات تتعلق بأخطاء قد يجدوها كما يعطونا أيضًا اقتراحات لتطوير الكتاب في إصدار لاحق عن طريق الاتصال بالمؤلف الرئيس.

المؤلفون

المحتويات

الفصل الثاني عشر: إدارة الآلات ٦٩٣

الملاحق

ثبت المصطلحات العلمية

الفصل الأول

مقدمة
Introduction

● دواعي المكننة ● تاريخ الزراعة المكننة ● العمليات الزراعية والآلات المصاحبة ● التحليل الوظيفي للآلات الزراعية ● العمليات الأساسية للآلات الزراعية

١,١ دواعي المكننة

ساهمت عوامل عديدة في مكننة الزراعة. ومن أكثر هذه العوامل أهمية؛ التقليل من الجهود البشرية الشاقة، وزيادة الإنتاجية، والحاجة إلى تقليل ذروة الطلب على العمالة. تتطلَّب الأعمال الزراعية جهداً عضلياً كما أن ظروف العمل متقلبة، ولهذا فالمكننة تقلل من الجهد البشري. فالجهد المبذول في قيادة الجرار الزراعي أقل من ذلك المبذول في حراثة التربة بالفأس طوال اليوم. ويستطيع جرار يسحب محراثًا إنجاز مساحة أكبر مما ينجزه عامل بواسطة فأس في الوقت نفسه، وبذلك تزداد الإنتاجية والتوقيت المناسبين للعملية. ويعد التوقيت عاملاً مهمًا في الإنتاج الزراعي. ويزيد الإنتاج بشكل ملحوظ عند إنجاز عمليات زراعية معينة مثل الزراعة والحصاد في الوقت المناسب. ويتذبذب الطلب على العمالة خلال موسم الزراعة، حيث تزداد الحاجة إلى العمالة خلال فترتي الزراعة والحصاد أكثر من الفترات الأخرى لنمو النبات. ويخلق هذا التذبذب في الطلب على العمالة مشكلات في نقلهم وتأمين لوازمهم من وجهة نظر إدارة العمالة. ويمكن بالمكننة تقليل الطلب على العمالة والحفاظ على قوة عمالية أكثر استقراراً.

١,٢ تاريخ الزراعة الممكننة

وعلى الرغم من حدوث تغيرات كبيرة في مجال الزراعة، فمازالت الحاجة قائمة لحراثة التربة، وزراعة البذور فيها، كما يحتاج المحصول النامي إلى خدمة وعناية، ولاتزال المحاصيل بحاجة إلى حصاد ودراس. ومع ذلك، فقد تغيرت الطريقة التي تنفذ بها تلك العمليات تغيراً جذرياً.

أحد أقدم المحاريث التي استخدمت لحراثة التربة كان محراثًا خشبيًا يسحب إما بقدرة بشرية أو حيوانية. وقد تم تطوير المحاريث القلابة المطرحية باستخدام الصلب، ويعد تطوير المحراث القلاب المطرحي تطوراً رئيسًا، حيث يقوم بقلب التربة وتهويتها ويستخدم لمكافحة الحشائش. وكانت البذور تزرع بنثرها يدويًا. وحدث التطور الرئيس في البذار عندما تمت زراعة البذور في صفوف باستخدام عصية مستدقة الطرف في المراحل الأولى ثم باستخدام آلات الزراعة لاحقًا. تتميز الزراعة في صفوف بالتحكم في كثافة النباتات، وبالتالي مكافحة الحشائش بشكل أفضل خلال فترة نمو النبات.

وكان حصاد المحصول يتم يدويًا بواسطة المنجل أو المحشة. ويحزم المحصول بعد حصاده ويحمل إلى موقع مركزي حيث يتم دراسه إما بضربه بعصا أو بجعل الحيوانات تسير عليه. يُفصل المحصول بعد دراسه من العصافة والتبن بتذريته بالريح الطبيعية. ثم يتم إسقاط خليط المحصول المدروس ببطء من ارتفاع معين حيث تقوم الريح بنفخ العصافات وقطع التبن الصغيرة بعيداً تاركة الحبوب النظيفة لتسقط مكونة كومة. وتكرَّر العملية حتى تصبح الحبوب نظيفة. وأخيراً، يقطع المحصول بواسطة محشات تستخدم قضيب حصد ترددياً. ويتم تحزيم المحصول يدويًا. وتوجد حصادات تقوم بدمج عمليتي القطع والربط في حزم، كما أنه قد أصبح تطوير آلات دراس ثابتة ممكنًا بعد تطوير المحركات البخارية. استخدمت آلات الدراس الثابتة للدراس المحصول المحزم في مركز رئيس. ولاتزال عملية التنظيف تتم بالتذرية، ولكن يتم ذلك باستخدام مروحة بدلاً من الريح الطبيعية. وقد أصبح من الممكن دمج عمليات الحصاد والدراس والتنظيف بعد اختراع محرك الاحتراق الداخلي. فأصبح الاسم "آلة الحصاد والدراس" شائعًا بسبب أن الآلة تقوم بدمج العمليات

الثلاث .

في البداية كانت القدرة اللازمة لإنجاز العمليات الزراعية تُستمد من العمالة البشرية . ومن ثم استخدمت الحيوانات مصدراً للقدرة . في البداية استخدمت الخيول والجاموس والثيران والجمال ، حتى الفيلة استخدمت مصادر للقدرة . وبتطوير المحرك البخاري عام ١٨٥٨م أصبحت القدرة الآلية هي المصدر الرئيس . وقد صنع أول جرار بمحرك احتراق داخلي عام ١٨٨٩م . فالجرارات المزوّدة بمحرك احتراق داخلي كانت أخف وزنًا وأكثر قدرة . كما استخدمت محركات الديزل ذات الضغط العالي في الجرارات خلال الثلاثينيات من القرن العشرين وأصبحت شائعة جداً . واليوم أصبح الجرار الحديث آله معقدة ذات جهاز تدوير هيدروستاتي وذات مؤازر كهروهيدرولي للتحكم في المقاومة والعمق ، مع كابينة للعامل مصممة بحيث يمكن التحكم في بيئتها .

يجب الإشارة إلى أنه في مناطق عديدة من العالم ، خصوصًا دول العالم الثالث ، أن كلا من العمالة اليدوية والقدرة الحيوانية تعدان بمثابة مصدر رئيس للقدرة اللازمة للعمليات الزراعية . وحتى في الدول الأكثر تقدمًا لاتزال العمالة اليدوية مستخدمة في عمليات حصاد الفواكه الطازجة المعدة للتسويق وكذلك في عمليات حصاد الخضر ، وذلك بسبب الطبيعة الحساسة لهذه المنتجات . ويعتمد مستوى المكننة على مقدار العمالة المتاحة ومستوى التصنيع في كل بلد .

وقد أتاحت مكننة الزراعة الفرصة لتطور صناعات أخرى ، وذلك بتقليل احتياجات العمالة وتوفيرها للصناعات الأخرى . ففي عام ١٨٧٠م كان أكثر من نصف العمالة في الولايات المتحدة الأمريكية تعمل بالزراعة . و بسبب المكننة الزراعية أصبح واحد من كل اثني عشر عاملاً في عام ١٩٦٠م ثم واحد من كل ستة وعشرين عاملاً في عام ١٩٧٦م يعملون بالزراعة . وينتج المزارع في الولايات المتحدة الأمريكية غذاءً يكفي لستين شخصًا وتستطيع العائلة الزراعية إدارة مزرعة تصل مساحتها إلى ١٢٠٠ هكتار . واليوم في الولايات المتحدة الأمريكية تحتل المنتجات الزراعية المرتبة الثانية في السلع المصدرة .

المكننة الزراعية هي طاقه ورأس مال مكثف . وتحدد تكاليف الطاقة ورأس المال

المتاح لشراء الآلات مستوى المكننة في المجتمع.

ويعد مجال المكننة الزراعية ديناميًا جداً. وسوف يستمر كل من التقدم التقني واعتبارات الطاقة والبيئة في تأثيرهما على الزراعة بما في ذلك المكننة.

١,٣ العمليات الزراعية والآلات المصاحبة

النباتات هي وحدات الإنتاج الرئيسة للزراعة. تستقبل النباتات أول أكسيد الكربون من الهواء خلال أوراقها، وتستقبل الماء والمواد المغذية من التربة عبر جذورها. وباستخدام أول أكسيد الكربون والماء والمواد المغذية إضافة إلى الطاقة الشمسية، تنتج النباتات البذور والفواكه والجذور والخيوط أو الزيوت التي يمكن أن يستخدمها الإنسان.

تنمو النباتات طبيعيًا بدون تدخل بشري. ومع ذلك، تزداد الزراعة حينما يحاول الإنسان التحكم في نمو النبات. وتستخدم الآلات كامتداد لقدرة الإنسان لإنتاج النباتات والعناية بها. وسوف يركز هذا الكتاب على كثير من الآلات التي يستخدمها المزارعون لإنتاج المحاصيل الزراعية.

المحصول هو مجموعة من النباتات المتماثلة التي تنمو في نفس مساحة الأرض. على سبيل المثال، إذا كان المزارع ينتج أرزاً وقمحًا، فإنه يقال إن هذه المزرعة تنتج محصولين. ويجب على المزارع إكمال عمليات معينة لإنتاج المحصول بنجاح. وأولى هذه العمليات هي تحريك التربة آليًا وتسمى الحراثة، لإعداد مرقد البذرة، وتسمى العملية الثانية الزراعة، وتتم بوضع البذور في التربة المحروثة عند العمق الصحيح وعلى مسافات مناسبة بين البذور. ويتوفر درجة الحرارة المطلوبة للتربة وكذلك محتواها الرطوبي، تنبثق البذور مكونة نباتات. بعض المحاصيل، تزرع البذور في مساحة صغيرة تسمى مشتل زراعي وبعد ذلك تنقل الشتلات (النباتات الصغيرة) إلى الحقول لتنمو حتى درجة النضج.

وفي أثناء نمو النباتات حتى درجة النضج يجب على المزارع حمايتها من المؤذيات مثل الحشائش (النباتات غير المرغوب فيها) والحشرات والحيوانات والأمراض. وتستخدم المواد الكيماوية على فترات دورية لمكافحة الحشائش

والحشرات والأمراض. وفي بعض الحالات يستخدم العزيق الآلي (الحراثة بين النباتات) لمكافحة الحشائش. وقد تستخدم الأسوار أو أجهزة إصدار الضوضاء أو الضجيج للحماية من الحيوانات.

أما العملية الأخيرة لإنتاج المحصول فهي حصاد أجزاء النبات ذات القيمة الاقتصادية للمزارع. وفي بعض الحالات، قد توجد لأكثر من جزء من أجزاء النبات قيمة اقتصادية، على سبيل المثال، قد يستخدم المزارع قش الأرز (السيقان والأوراق) مصدراً للطاقة بعد فصل بذور الأرز من النباتات. وفي حالات أخرى، تخلط بقايا المحصول (أجزاء النبات غير المستخدمة) بالتحريك مع التربة وذلك في أثناء الحراثة للمحصول التالي.

تسمى الفترة الزمنية التي تمر من بداية عملية الزراعة حتى نهاية عملية الحصاد بموسم النمو. يكون موسم النمو في بعض المناطق الزراعية ذات الطقس الاستوائي مستمراً. في هذه المناطق، يمكن زراعة المحصول في أي وقت خلال العام، ويمكن حصاده عندما يتم نضجه. وفي مناطق زراعية كثيرة يكون موسم النمو محدوداً بسبب ظروف الطقس. على سبيل المثال، قد تبدأ عملية البذار في أثناء فصل الربيع حينما تبدأ درجة حرارة التربة في الارتفاع، وتكتمل عملية الحصاد خلال فصل الخريف قبل بداية الجو البارد. وفي ظروف مناخية أخرى، يعتمد موسم النمو على أنماط سقوط الأمطار عند الزراعة في بداية موسم الأمطار، حتى تتوفر مياه كافية لنمو النبات. تؤدي ظروف الطقس في بعض المناطق الزراعية إلى قصر الموسم الزراعي، بحيث يزرع محصول واحد في العام، بينما يكون لمناطق أخرى موسم زراعي أطول يسمح بمحصولين أو أكثر في العام في نفس الحقل. وتحتاج عمليتا البذار والحصاد إلى عمـ ـه مكثفة لإنجازهما في توقيت مناسب وذلك حينما يعتمد الموسم الزراعي على الطقس. وإذا لم تكتمل عمليتا البذار والحصاد في الوقت المناسب لكل منهما فسوف يؤدي ذلك إلى انخفاض إنتاجية المحصول.

المحاصيل الزراعية، مثل الأرز، هي محاصيل حولية تحصد مرة واحدة بعد كل عملية بذار. تموت النباتات الحولية بعد نضجها، ويجب زراعة محصول جديد قبل القيام بعملية حصاد أخرى. أما محاصيل العلف (المستخدمة لتغذية المواشي)

فهي نباتات معمرة (مستديمة) تعيش عدة سنوات ويمكن حصادها عدة مرات بعد عملية بذار واحدة.

تشمل المحاصيل الحقلية الحبوب، الفاصوليا، محاصيل العلف و بنجر السكر، بينما تشمل محاصيل البساتين الفواكه والخضر. وتعتمد أنواع المحاصيل التي يختارها المزارعون لمزارعهم على نوع التربة والطقس والعمالة المتوفرة والآلات المتاحة والربح المحتمل والعادات الاجتماعية والبرامج الحكومية ومهارة المزارع. ينتج كثير من المزارعين أكثر من محصول واحد في العام. على سبيل المثال، قد تُقسم المزرعة إلى أربعة قطع يُزرع بكل منها محصولٌ مختلفٌ. وتتاوب تلك المحاصيل بتعاقب ثابت يسمى الدورة الزراعية، والجدول رقم (١ , ١) يشرح مثالاً لذلك. يؤدي استخدام الدورة الزراعية إلى توزيع عبء عمل المزارع على فترات زمنية أطول، كما يقلل من المخاطرة الاقتصادية في حالة فشل أحد المحاصيل. ويمكن للدورة الزراعية الجيدة أيضًا تحسين كلٍّ من إنتاجية المحصول والتربة.

جدول ١,١. مثال لدورة زراعية تحتوي على أربعة محاصيل.

السنة	المساحة ١	المساحة ٢	المساحة ٣	المساحة ٤
١	محصول (أ)	محصول (ب)	محصول (جـ)	محصول (د)
٢	محصول (ب)	محصول (جـ)	محصول (د)	محصول (أ)
٣	محصول (جـ)	محصول (د)	محصول (أ)	محصول (ب)
٤	محصول (د)	محصول (أ)	محصول (ب)	محصول (جـ)

٤ , ١ التحليل الوظيفي للآلات الزراعية

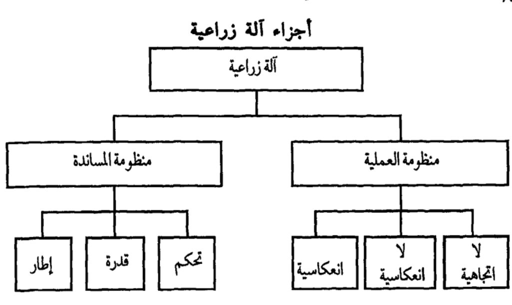
للآلة الزراعية عدة مكونات تعمل مع بعضها كمنظومة لكي تعمل الآلة بالطريقة التي أعدت لها. أي آلة، مهما كانت بسيطة قد تقسم إلى عدة مكونات

فرعية. ولفهم كيفية عمل الآلة، فإنه من الضروري اعتبار الآلة مجموعة أو (منظومة) لعدة منظومات فرعية. في هذا القسم سوف نتعلم كيف نحدد نوع المنظومات المختلفة الموجودة في الآلة الزراعية الحديثة والوظائف التي تقوم بها المنظومات الفرعية.

يمكن تقسيم الآلة الزراعية إلى منظومتين فرعيتين: إما منظومة عمليات وإما منظومة مساندة. فمنظومة العمليات هي مكونات الآلة التي تقوم فعلاً بالوظائف التي صممت الآلة لتأديتها. بمعنى آخر؛ القطع، الفصل، الخلط، . . . إلخ. والمنظومة المساندة هي الأجزاء التي تساند أو تساعد منظومة العمليات لتأدية وظائفها. يمكن تصنيف منظومة المساندة كمنظومة إطار، قدرة أو تحكم. تتكون منظومة الإطار من كل الأجزاء الإنشائية للآلة التي تكون وظائفها تثبيت جميع أجزاء الآلة مع بعضها لتعمل بشكل مناسب. تزود منظومة القدرة منظومة العمليات بالقدرة اللازمة. ويتم عادة إنتاج القدرة اللازمة للتشغيل ونقلها بواسطة منظومة القدرة. وتحتوي الآلات ذاتية الحركة على كل من مصدر القدرة (المحرك) وأجهزة نقل القدرة (مجموعة الإدارة). وتعتمد آلات أخرى كثيرة على الجرار كمصدر للقدرة، حيث تحتوي على أجهزة نقل القدرة؛ مثل الجنازير والسيور والتروس وأعمدة مأخذ القدرة، . . . إلخ. وتشكل جميع تلك الأجهزة منظومة القدرة التي تدير منظومة العمليات. وظيفة منظومة التحكم هي التحكم في منظومة العمليات. وقد يكون التحكم آليًا أو يدويًا.

وكما في منظومات المساندة، قد تقسم منظومة العمليات إلى ثلاثة أنواع. هذه الأنواع هي انعكاسية ولاانعكاسية ولااتجاهية. العمليات الانعكاسية هي تلك التي يمكن عكسها مثل الفصل والكبس، . . . إلخ. والعمليات اللا انعكاسية هي تلك التي لايمكن عكسها، مثل عمليات القطع والجرش، . . . إلخ. والعمليات اللااتجاهية هي تلك التي ليس لها اتجاه. من أمثلة تلك العمليات النقل والتلقيم أو تخزين المواد.

يوضح الشكل رقم (١,١) تفصيلاً لأنواع المنظومات الموجودة في الآلة الزراعية. وقد يساعد هذا التوضيح على تطوير مفهوم الآلة الزراعية كمنظومة.



شكل١,١. منظومات الآلات الزراعية.

١,٤,١ العمليات الأساسية للآلات الزراعية

سوف نركز في هذا الكتاب على منظومة العمليات للآلات الزراعية. تشمل منظومة العمليات للآلة كل الأجزاء التي تقوم بعمليات انعكاسية ولا انعكاسية ولااتجاهية، حيث إن تلك العمليات هي الوظائف التي صممت الآلة لتأديتها. على سبيل المثال، صممت آلة عمل البالات العادية المربعة لترزيم مادة العلف (التبن)، لأداء هذه الوظيفة، يجب أن تحدث عدة عمليات لمادة العلف (التبن). تشتمل هذه العمليات على عمليات لا انعكاسية مثل القطع، عمليات انعكاسية مثل الالتقاط والكبس، وعمليات لااتجاهية مثل النقل والتلقيم.

وعمومًا توجد ١٥ عملية في الآلات الزراعية. تشتمل على ثماني عمليات انعكاسية وأربع لا انعكاسية وثلاث لااتجاهية. وتجدول كل من العمليات في القائمة تحت المجموعة المناسبة في الجدول رقم (٢, ١). وضعت العمليات الانعكاسية في أزواج تحت المجموعة المناسبة في الجدول. وليس المقصود من القائمة أن تكون شاملة، ولكن تشمل القائمة العمليات الأكثر شيوعًا في الآلات الزراعية الحديثة.

جدول ٢,١. العمليات الأساسية للآلات الزراعية.

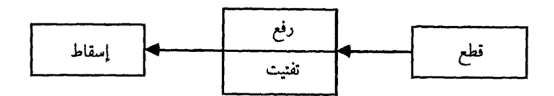
العمليات الانعكاسية	
خلط	فصل
لمّ	نثر (نفش)
التقاط	ايداع
بعثرة	ترتيب
عمليات لا انعكاسية	
تفكيك أو فصل	
قطع	
سحق	
جرش	
عمليات لاتجاهية	
نقل	
تلقيم	
تخزين	

٢,٤,١ أشكال العمليات

الأداة التي يمكن أن تساعد على فهم تشغيل الآلات الزراعية هي رسم شكل العمليات التي تحدث في الآلة. يكون الشكل باتباع سريان المادة خلال الآلة وتسجيل العمليات حسب ترتيب حدوثها. ويمكن توصيل العمليات بخطوط لتوضيح سريان المادة خلال الآلة.

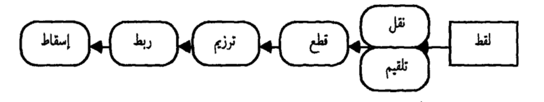
ويمكن أن تحدث أي من العمليات سواء أكانت كليةً داخل الآلة أم مع حركة الآلة كجزء من العملية. على سبيل المثال، الحركة الأمامية لآلة عمل البالات ضرورية لالتقاط التبن. ومع ذلك، سوف يتم عمل البالة بعد التقاط التبن بغض النظر عن الحركة الأمامية للآلة. ويجب احتواء العملية في صندوق حينما تكون

حركة الآلة جزءاً منها. يجب إحاطة العملية التي تحدث كليةً داخل الآلة بدائرة أو بقطع بيضاوي ناقص. وسوف تساعد أمثلة قليلة على فهم فكرة رسم شكل العملية. أول مثال جيد هو المحراث القلاب المطرحي. الخطوة الأولى هي تحديد العمليات التي تحدث عندما يتحرك المحراث خلال التربة. عندما يتحرك المحراث للأمام، تُقطع التربة، تُرفع، تُفتت وتُسقط. الخطوه الثانية هي تحديد ما إذا كانت العمليات تعتمد على الحركة الأمامية أم لا. في حالة المحراث القلاب المطرحي، سوف تتوقف جميع الوظائف بتوقف المحراث. شكل مسار العملية للمحراث القلاب المطرحي موضح في الشكل رقم (٢, ١). تحدث عمليتا الرفع والتفتيت في نفس الوقت ولهذا وضحت بالرسم بشكل مزدوج.



شكل ١,٢. مخطط مسار عملية المحراث.

آلة عمل البالات العادية هي آلة أكثر تعقيداً لرسم مسار عملياتها. والعمليات التي تحدث في الآلة هي: الالتقاط، النقل، التلقيم، القطع، الترزيم، الربط، النقل، الإسقاط. وعملية الالتقاط هي العملية التي تعتمد على الحركة الأمامية للآلة. رسم مسار العملية موضح في الشكل رقم (٣, ١).



شكل ١,٣. مخطط مسار عملية تبييل التبن.

أدخلت أفكار منظومات الآلة ورسم مسار العمليات كأدوات لمساعدة الطلاب في التعليم الأكثر عمقًا عن تركيب وتشغيل الآلات الزراعية. ومن المؤمل أن تعطي تلك الأفكار نظرة جديدة واهتمامًا أكثر عند دراسة الآلات الزراعية.

الفصل الثاني

القدرة للآلات الزراعية
Power for Agricultural Machines

● قدرة الديزل ● الاحتراق ● التحكم في سرعة المحرك ● المحركات الكهربائية ● مبادىء تشغيل المحركات الحثية ● أغلفة المحركات الكهربائية ● تمارين على الفصل الثاني

مقدمة

استخدمت المعدات الزراعية القديمة القدرة البشرية، وفي القرنين التاسع عشر والعشرين، زودت الحيوانات المعدات الزراعية باحتياجتها من القدرة. وعلى أية حال، فإن المعدات الزراعية الحديثة تستمد القدرة من محركات الاحتراق الداخلي (IC) ومنذ السبعينيات في القرن العشرين أصبحت كل المحركات الزراعية الجديدة تقريبًا من محركات الاشتعال بالضغط (CI) التي تقوم بحرق وقود الديزل. ويمكن أن يكون المحرك جزءاً من الآلة نفسها، كما في آلة الحصاد والدراس ذاتية الحركة، أو يقوم الجرار الزراعي بتزويدها بالقدرة اللازمة. وغالبًا ما يتم اختيار المحركات الكهربائية بدلاً من المحركات التي تعمل بالوقود للتطبيقات التي تكون فيها القدرة الكهربائية متاحة. مقارنةً بالمحركات التي تعمل بالوقود، فإن المحركات الكهربائية تكون أكثر هدوءاً، وأكثر مناسبة للتحكم التلقائي أو من بعد، كما أنها لاتنتج عوادم. ومن ثم فسوف نناقش أنواعًا مختلفة من المحركات الكهربائية في هذا الفصل.

٢,١ قدرة الديزل

تستهلك المحركات الوقود لإنتاج القدرة. ويتم توصيل القدرة إلى بعض

الأحمال عن طريق عمود المرفق وحذافة المحرك. وتفقد كثيراً من طاقة الوقود قبل تحويلها إلى قدرة نافعة. والغرض من هذا الجزء هو توضيح العمليات التي تحدث في محرك الاحتراق الداخلي، والتي يتم من خلالها إنتاج القدرة، وإلقاء نظرة على كيفية صنع المحركات لتعمل بكفاءة. وبقراءة هذا الجزء، سوف نتعلم كذلك المصطلحات المهمة للمحركات التي تعمل بوقود الديزل.

١,١,٢ قدرة الوقود

الوقود السائل طاقة كيميائية مخزنة عالية التركيز. إحراق الوقود حتى عند معدلات متوسطة يعطي مقداراً كبيراً من القدرة، والتي يمكن حسابها باستخدام المعادلة رقم (١,٢):

$$P_{fe} = \frac{H_g \dot{m}_f}{3600} \qquad (٢,١)$$

حيث:

P_{fe} = القدرة المكافئة للوقود، كيلوواط

H_g = القيمة الحرارية الإجمالية للوقود، كيلوجول/ كجم

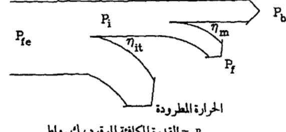
$\dot{m}_f$ = معدل استهلاك الوقود، كجم/ ساعة.

تقاس القيمة الحرارية بحرق عينة من الوقود في المِسْعر (الكالوريميتر). وتعرَّف القيمة الحرارية كإجمالية (H_g) أو صافية (H_n)، ويعتمد ذلك على الحالة التي يستعاد بها الماء الناتج عن الاحتراق كسائل أو بخار على التوالي. وتستخدم أحيانًا المصطلحات العليا أو السفلى بدلاً من إجمالية أو صافية على التوالي. والقيم الحرارية المجدولة في الكتب، انظر الجدول رقم (١,٢) هي قيم إجمالية ما لم يذكر غير ذلك. يتاح أقل من نصف القدرة المكافئة للوقود للعمل النافع لدى حذافة المحرك، انظر الشكل رقم (١,٢). وسوف يتم تعريف الفواقد المختلفة للقدرة في بقية الجزء رقم (١,٢).

جدول ١,٢. مقارنة خواص عدة أنواع من الوقود.

الوقود	الثقل API	كثافة الوقود كجم/ م٣	القيمة الحرارية العليا كج/ كجم	رقم أركتين البحثي	مدى الغليان °م	الرمز	النسبة الوزنية للهواء/ الوقود
بيوتان	١١٢	٥٨٠	٤٩٥٠٠	٩٨	٠	C_4H_{10}	١٥,٥
بروبان	١٤٦	٥٠٩	٥٠٣٠٠	١١١	٤٢ -	C_3H_8	١٥,٧
بنزين عادي	٦١	٧٣٥	٤٧٦٠٠	٩٣	٣٠ - ٢٣٠	C_6H_{18}	١٥,٢
ديزل رقم ١	٤٠	٨٢٣	٤٥٧٠٠	*٤٠	١٦٠ - ٢٦٠	$C_{12}H_{26}$	١٥,٠
ديزل رقم ٢	٣٨	٨٣٤	٤٥٥٠٠	*٤٠	٢٠٠ - ٣٧٠	$C_{16}H_{34}$	١٥,٠
كحول الميثيل	--	٧٩٢	٢٢٧٠٠	١١٠	٦٥	CH_4O	٦,٤٩
كحول الإيثيل	--	٧٨٥	٢٩٧٠٠	١١٠	٧٨	C_2H_6	٩,٠٣
كحول البيوتيل	--	٨٠٥	٣٦١٠٠	--	١١٨	$C_4H_{10}O$	١١,٢

* أقل حلقة سيتان لوقود الديزل.



P_{fe} = القدرة المكافئة للوقود، ك. واط
P_i = القدرة البيانية، ك. واط
P_f = قدرة الاحتكاك، ك. واط
P_b = القدرة الفرملية، ك. واط
η_{it} = الكفاءة الحرارية البيانية، كسر عشري
η_m = الكفاءة الميكانيكية، كسر عشري

شكل ١,٢. سريان الطاقة خلال المحرك.

٢,١,٢ الاحتراق

الاحتراق عملية معقدة جدًا وخصوصًا في محرك الاشتعال بالضغط. يجب تبخير الوقود وخلطه بالهواء لتكوين مخلوط قابل للاحتراق. ويولد إحراق

مخلوط الوقود-الهواء عوادم، كما يولد أيضًا ضغطًا متزايدًا لتحريك الكباسات. ويؤثر معدل ارتفاع الضغط على أداء المحرك والاعتمادية.

كيمياء الاحتراق. يمكن إلقاء نظرات فاحصة تكون مفيدة جدًا في فهم المحركات بافتراض فرضيتين مبسطتين تتعلقان بكيمياء الاحتراق. الفرضية الأولى هي أن كل الهيدروجين الموجود في الوقود يرتبط بالأكسجين لتكوين الماء. الفرضية الثانية هي أن الكربون الموجود في الوقود يُحوَّل إلى ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وأول أكسيد الكربون (CO)، بحيث لايظهر أي كربون حُر في نواتج الاحتراق. معظم أنواع وقود المحركات التقليدية التي تعتمد على وقود النفط عبارة عن خليط من مجموعة منوعة من جزيئات الهيدروكربون، والجزيئات الممثله معطاة في الجدول رقم (١ , ٢) لكل نوع من أنواع الوقود الشائعة التي تعتمد على وقود النفط. وقد وضعت في القائمة أيضًا الكحوليات التي يمكن أن تصبح وقودًا يستخدم في المحركات في المستقبل. ويمكن استخدام أوزان ذرية في حسابات الاحتراق مقدارها ١٢ للكربون، ١ للهيدروجين، ١٦ للأكسجين و١٤ للنيتروجين. وعلى الرغم من وجود غازات مختلفة في الهواء الجوي للأرض، إلا أنه من الممارسات الشائعة في حسابات الاحتراق إهمال كل الغازات ماعدا الأكسجين والنيتروجين. يتكوَّن تركيب الهواء الجوي من ٧٦ , ٣ جزيئًا من النيتروجين (N_2) يصاحب كل جزيء من الأكسجين (O_2). عندئذ تصبح كيمياء الاحتراق مسألة بسيطة وذلك بعد الذرات، كماهو مبين في المثال رقم (١ , ٢).

مثال رقم (١ , ٢)

احسب نسبة الهواء إلى الوقود عند اتحادهما عنصريًا (بشكل صحيح كيميائيًا) عند احتراق وقود الديزل مع الهواء. حلل أيضًا نواتج الاحتراق.

الحل. من الجدول رقم (١ , ٢)، يستخدم جزيء السيتان ($C_{16}H_{34}$) لتمثيل وقود الديزل. وتحت الفرضيات القياسية المبسطة يصبح تفاعل الاحتراق الكامل:

$$C_{16}H_{34} + 24.5\ O_2 + 92.12\ N_2 \geq 92.12\ N_2 + 16\ CO_2 + 17\ H_2O$$

يتزن التفاعل على أساس جزيء واحد من الوقود. يُحدد إتزان الهيدورجين كمية الماء في نواتج الاحتراق، بينما يُحدد إتزان الكربون مقدار ثاني أكسيد الكربون (CO_2). عندئذ، يجب تزويد مقدار كاف من الأكسجين لتكوين ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والماء (H_2O)، كل جزيء من الأكسجين (O_2) يكون مصحوباً بـ ٣,٧٦ جزيئًا من النيتروجين (N_2). والنتيروجين تقريبًا خامل ويظهر مع نواتج الاحتراق. ونسبة الهواء إلى الوقود عند اتحادهما عنصريًا تكون:

$$A/F = (24.5 * 32 + 92.12 * 28) / (16 * 12 + 34 * 1) = 14.9$$

لاحظ أن ١٧ جزيئًا من الماء يظهر مع العادم لكل جزيء من الوقود المحترق، أو على أساس الكتلة، يظهر ١,٣٥ كجم من الماء لكل كجم من الوقود المحترق. الفرق بين القيمتين الحراريتين الإجمالية والصافية للوقود يساوي بالضبط الطاقة الكامنة للماء والناتجة عن الاحتراق، بمعنى آخر، الطاقة اللازمة لتحويل هذا الماء السائل إلى بخار. والسبب الرئيس في أهمية تسخين المحركات بسرعة هو جعل ماء الاحتراق يخرج من المحرك كبخار بدلاً من خروجه كسائل. وإذا احتوى الوقود على شوائب كبريتية، فإن مركبات الكبريت الناتجة عن الاحتراق يمكن أن تتفاعل مع الماء السائل مكوِّنة حامض الكبريتيك الذي يسبب تآكل المحرك.

يتم تحليل غازات عادم المحرك عادة على أساس حجمي جاف. وحيث إن غازات العادم تكون مخلوطة بنفس درجة الحرارة والضغط، فإن كل جزيء يشغل نفس الحجم حسب قانون (Avogadros). ولهذا يكون تحليل غازات العادم الجافة في المثال رقم (١,٢) كالتالي:

$92.12/(92.12 + 16) = 0.852$ (يشغل جزء الحجم ٢, ٨٥٪ بواسطة N_2)

و

$16/(92.12 + 16) = 0.148$ (يشغل جزء الحجم ٢, ٨٥٪ بواسطة CO_2)

نسبة التكافؤ (ϕ) هي قياس غنى المخلوط. وتعرف كالتالي:

$$\phi = \frac{(F/A)_{actual}}{(F/A)_{stoichiometric}} \qquad (٢,٢أ)$$

أو

$$\phi = \frac{(A/F)_{stoichiometric}}{(A/F)_{actual}} \qquad (٢,٢ب)$$

لاحظ أن نسبة الوقود إلى الهواء (F/A) ما هي إلا معكوس نسبة الهواء إلى الوقود (A/F). ولهذا، في المثال رقم (١,٢) كانت نسب الاتحاد العنصري ٩,١٤ أو (F/A) = ٠,٠٦٧١. ويعد مخلوط الهواء - الوقود غنيًا إذا كانت نسبة التكافؤ (ϕ) أكبر من ١، ويعد متعادلاً كيميائيًا إذا كانت نسبة التكافؤ مساوية ١ أو يعد فقيراً إذا كانت نسبة التكافؤ أقل من ١. ويحتوي المخلوط الغني على وقود أكثر من الأكسجين المتاح للاحتراق، بينما يحتوي المخلوط الفقير على أكسجين أكثر من الكمية اللازمة نظريًا لإحراق كل الوقود. فحينما تكون نسبة التكافؤ (ϕ) أكبر من ١، فإنه لا يتوفر أكسجين بقدر كاف لتحويل كل الكربون الموجود في الوقود إلى ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وبالتالي يظهر أول أكسيد الكربون (CO) مع العادم. وحينما تقل نسبة التكافؤ عن ١، لا تكون هناك حاجة إلى كل الأكسجين لإتمام عملية الاحتراق لأن الأكسجين الحر يظهر مع نواتج العادم.

يتحقق تفاعل الاحتراق بشكل عام لأي مخلوط هواء–وقود تحت الفرضيتين المبسطتين آنفتي الذكر كما يلي:

$$C_xH_yO_z + \frac{\psi_1}{\phi} O_2 + 3.76 \frac{\psi_1}{\phi} N_2 \Rightarrow$$

$$3.76 \frac{\psi_1}{\phi} N_2 + \psi_2 CO_2 + \psi_3 CO + \psi_4 O_2 + \frac{y}{2} H_2O \qquad (٢,٣)$$

حيث:

x = عدد ذرات الكربون في جزيء الوقود

y = عدد ذرات الهيدروجين في جزيء الوقود

z = عدد ذرات الأكسجين في جزيء الوقود.

$$\psi_1 = x + y/4 - z/2$$

$$\psi_2 = \{x, \qquad \phi \le 1$$

$$\psi_2 = \{x - 2\psi_1 (1-1/\phi), \qquad \phi > 1$$

$$\psi_3 = \{0, \qquad \phi \le 1$$

$$\psi_3 = \{2\psi_1 (1-1/\phi), \qquad \phi < 1$$

$$\psi_4 = \{\psi_1 (1/\phi - 1), \qquad \phi < 1$$

$$\psi_4 = \{0, \qquad \phi \ge 1$$

لاحظ أن تفاعل الاحتراق رقم (٢,٣) يلائم الوقود المؤكسد، مثل الكحوليات في الجدول رقم (٢,١). ليس من الضروري أن يكون عدد ذرات الكربون، الهيدروجين، الأكسجين أرقامًا صحيحة. النسبة الفعلية للهواء إلى الوقود من أجل الاحتراق هي:

$$A/F = \frac{137.3\ \psi_1}{\phi\ (12\ x + y + 16\ z)} \qquad (٢,٤)$$

التركيزات النظرية لنواتج العادم الجافة على أساس الحجم هي:

$$\text{Conc. } N_2 = 3.76\ \psi_1\ /\ (\phi\ T) \qquad (٢,٥أ)$$

$$\text{Conc. } CO_2 = \psi_2 / T \qquad (٢,٥ب)$$

$$\text{Conc. } CO = \psi_3 / T \qquad (٢,٥جـ)$$

$$\text{Conc. } O_2 = \psi_4 / T \qquad (٥ , ٢د)$$

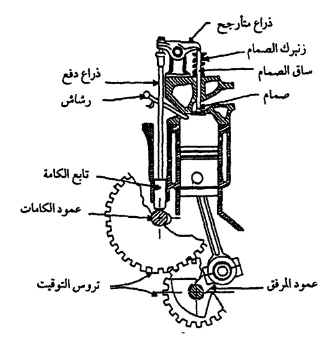
حيث :

$$T = \psi_2 + \psi_3 + \psi_4 + 3.76\, \psi_1 / \phi.$$

تعطي المعادلات من رقم (٥ , ٢أ) إلى رقم (٥ , ٢د) تقريبات جيدة للمُخرجات الفعلية للعادم، فيما عدا تلك اللحظات التي تظهر فيها أيضًا غازات أخرى. تتفاعل كمية صغيرة من الأكسجين والنيتروجين مع بعضها لتكوين أكاسيد النيتروجين، بمعنى آخر أول أكسيد النيتروجين (NO) وثاني أكسيد النيتروجين (NO_2). ويشار عادة إلى ناتج أول أكسيد النيتروجين (NO) وثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) بالرمز (NO_x). وذلك، لأن نسبة التكافؤ تكون عادة غير منتظمة خلال جميع غرف احتراق المحرك الفعلية، فقد تظهر كميات قليلة من أول أكسيد الكربون (CO) والأكسجين (O_2) مع العادم سواء أكانت القيمة الكلية لنسبة التكافؤ أصغر أم أكبر من الواحد. وقد يظهر أيضًا بعض الكربون الحر، بالإضافة إلى آثار كميات من الهيدروكربونات غير المحترقة (HC)، الهيدروجين وغازات أخرى.

تحرر الطاقة بالاحتراق. الغرض من تفاعل الاحتراق هو تحرير الطاقة لتحريك الكباسات. ويوضح الشكل رقم (٢ , ٢) قطاعًا لمحرك نمطي يعمل بالديزل. ويمكن أن تتم عملية الاحتراق إما في شوطين وإما في أربعة أشواط للكباس، ولكن الدورة رباعية الأشواط هي الأكثر شيوعًا. سيفترض أن كل المحركات المشروحة في هذا الكتاب تعمل بالدورة رباعية الأشواط إلا إذا نُص على غير ذلك.

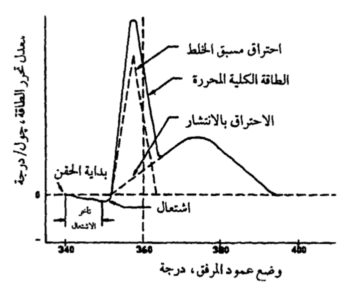
يمكن من خلال دمج كل من التجربة وتقنية التحليل، الاستدلال على معدل تحرر الطاقة خلال عملية الاحتراق. وتعتمد التقنية على قياس ضغوط غرفة الاحتراق في أثناء دوران المحرك مع قياس سرعة دوران عمود المرفق في نفس الوقت وحساب حجم غرفة الاحتراق. ويمكن حساب متوسط درجة حرارة حيز غرفة الاحتراق بمعرفة الضغط والحجم. حينئذ، فإنه من خلال التغيرات في الضغط والحجم ودرجة الحرارة يمكن حساب الحرارة المفقودة خلال جدران غرفة الاحتراق والشغل المبذول فوق الكباس والتغيرات في الطاقة الداخلية للمخلوط في غرفة



شكل ٢,٢. مقطع عرضي لمحرك نمطي يعمل بالديزل.

الاحتراق. فالطاقة الناتجة من الوقود تساوي مجموع الحرارة المفقودة والشغل والزيادات في الطاقة الداخلية. ويوضح الشكل رقم (٢,٣) منحنى نمطيًا لتحرر الطاقة لمحرك يعمل بالديزل، وقد تم رسم معدل تحرر الطاقة مقابل وضع عمود المرفق.

في محرك الديزل، يدخل الهواء في أثناء شوط السحب ويضغط. في نهاية شوط الضغط، قبل المركز الميت للرأس (HDC) بحوالي ٢٠° يبدأ حقن الوقود داخل غرفة الاحتراق. مبدئيًا، يبدو تحرر الطاقة السالبة ظاهريًا كطاقة تم سحبها من الغرفة لتبخير الوقود الذي تم حقنه. يختلط الوقود المتبخر مع الهواء ويستمر في تفاعلات أولية معينة في أثناء فترة تأخر الاشتعال. ثم يحدث الاشتعال ويحترق فجأة كل مخلوط الهواء والوقود الذي تم إعداده خلال فترة تأخر الاشتعال وينتج نموذجًا لتحرر الطاقة يأخذ شكل مثلث حاد يُعرف باسم احتراق مسبق الخلط. ولكي يستمر الاحتراق، يجب أن ينتشر كل من بخار الوقود والهواء باتجاه بعضهما عبر



شكل ٣,٢. معدل تحرر الطاقة من الوقود في محرك الاشتعال بالضغط.

مناطق الحرق للاحتراق مسبق الخلط. يحد معدل الانتشار من الاحتراق المتأخر، والذي يُعرف باسم الاحتراق الانتشاري. والطاقة الكلية المحررة هي مجموع الاحتراق مسبق الخلط والاحتراق الانتشاري. الاحتراق مسبق الخلط ذو كفاءة وهو احتراق نظيف أيضًا فيما عدا الحالات التي يتم فيها إنتاج أكاسيد النيتروجين (NO_x). على أية حال، يؤدي التحرر السريع للطاقة إلى حدوث إجهاد كبير على المحرك ويحدث أيضًا معظم ضجيج الاحتراق. والاشتعال الانتشاري بطيء وأهدأ وأقل إجهادًا للمحرك، ولكن ينتج عنه دخان يخرج مع العادم ويبث معظم أول أكسيد الكربون (CO) وهو أقل كفاءة. باستخدام وقود ذي معدل سيتان أعلى مع توقيت حقن أقل تقدمًا يغير كثيراً من الاحتراق مسبق الخلط إلى الاحتراق بالانتشار، والعكس أيضًا صحيح.

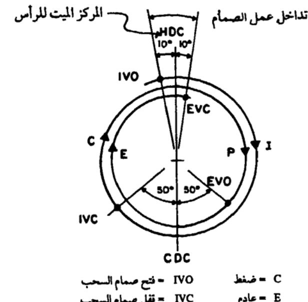
في محرك الديزل، لايتم إطلاقًا تضييق مجرى الهواء للتحكم في سرعته. وبدلاً من ذلك، يتم التحكم فقط بتغيير معدل حقن الوقود. وينتج عن ذلك أن تكون قيمة نسبة التكافؤ قريبة جدًا من الصفر حينما يعمل المحرك بدون حمل وتزداد بحقن كمية أكبر من الوقود مع زيادة الحمل. وللحد من بث الدخان وتجنب درجات

الحرارة الزائدة للمحرك، فإنه من الضروري تشغيل محرك الديزل بنسبة تكافؤ (ϕ) أقل من ٠,٧ تقريبًا. وكما يتضح من التفاعل رقم (٢,٣) والمعادلة رقم (٢,٥د) فإنه يظهر مقدار جدير بالاعتبار من الأكسجين الحر مع العادم عندما تكون نسبة التكافؤ مساوية لـ ٠,٧ أو أقل. وأحيانًا يزيد مستخدمو المحركات معدل توصيل الوقود لمحركات الديزل للاستفادة من الأكسجين الزائد وزيادة القدرة الخارجة من المحرك، ولكن يكون ذلك على حساب تقليل عمر المحرك. ولحماية أنفسهم، يقوم صانعو المحركات بوضع حلقة على مضخات الحقن. وإذا كُسرت الحلقة بغرض زيادة معدل توصيل الوقود، يُلغى الضمان على المحرك تلقائيًا.

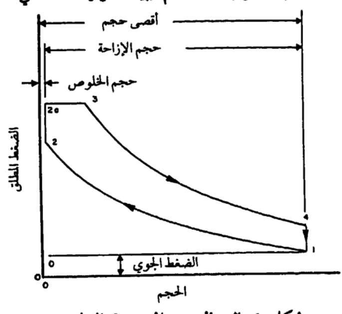
٢,١,٣ الحدود الديناميكية الحرارية لأداء المحرك

يعرف في هذا الجزء الضغط الفعال الذي يمكن الحصول عليه من الوقود لتحريك الكباسات، وكذلك كفاءة الاحتراق ذات الحدود الديناميكية الحرارية. يصمم المحرك لتتم فيه دورة الاحتراق في أربعة أشواط للكباس. وكما هو مطلوب للمحرك ذي الدورة رباعية الأشواط، ترتب تروس التوقيت البيانية في الشكل رقم (٢,٢) بحيث يدور عمود المرفق دورتين لكل دورة واحدة لعمود الكامات. ويوضح الشكل رقم (٢,٤) توقيت الصمام في الدورة رباعية الأشواط على حلزون لتوقيت الصمام. يصمم توقيت الصمام ليعظم سريان الهواء إلى الحد الأقصى خلال المحرك وقد يختلف بعض الشيء عن ذلك الموضح في الشكل رقم (٢,٤). حيث تبدأ الدورة مباشرة قبل المركز الميت للرأس (HDC) بفتح صمام السحب، وتنتهي عملية سحب الهواء مباشرة بعد المركز الميت للمرفق (CDC) بقفل صمام السحب. وباقتراب الكباس من المركز الميت للرأس في شوط الضغط، يحقن الوقود وبعد برهة قصيرة، يشتعل ويدفع الكباس إلى أسفل في شوط القدرة. وتبدأ عملية خروج العادم بفتح صمام السحب في نهاية شوط القدرة وتنتهي بقفل صمام العادم بعد المركز الميت للرأس مباشرة. لهذا تكون الأشواط الأربعة للدورة هي: سحب، ضغط، قدرة وعادم. يلاحظ وجود تداخل في عمل الصمامات، وبمعنى آخر، يفتح الصمامان في الوقت نفسه في أثناء جزء بسيط من الدورة. وتستخدم مصطلحات

بديلة في المراجع، النقطة الميتة العليا (TDC) بدلاً من المركز الميت للرأس و النقطة الميتة السفلى (BDC) بدلاً من المركز الميت للمرفق.



شكل٤ ,٢. حلزون توقيت الصمام يبين التوقيت النمطي للصمام.



شكل ٥ ,٢. الدورة المزدوجة النظرية.

الدورة المزدوجة المبينة في الشكل رقم (٢,٥) هي أفضل نموذج دينامي حراري لمحركات الديزل الحديثة. وهي تشرح التغيرات النظرية في ضغط غاز الاحتراق وحجم الأسطوانة أثناء دورة المحرك. والدورة المزدوجة هي دمج دورة أوتو، والتي تمثل محركات الاشتعال بالشرارة، ودورة ديزل الأصلية التي اقترحها (Dr. Rudolph Diesel) لتمثيل محركه. ويعرف المقدار (Υ) بأنه الجزء النسبي من الطاقة الداخلة للدورة المزدوجة عند ضغط ثابت. أو بمعنى آخر:

$$\Upsilon = \frac{q_p}{q_p + q_v} \qquad (٢,٦)$$

حيث:

q_p = الطاقة الداخلة عند ضغط ثابت

q_v = الطاقة الداخلة عند حجم ثابت.

وحينما تكون (Υ) مساوية للصفر تصبح الدورة المزدوجة دورة أوتو حيث تتطابق النقطتان (٢أ) و (٣)، الشكل رقم (٢,٥). وحينما تكون (Υ) مساوية للواحد، تصبح الدورة المزدوجة دورة ديزل الأصلية حيث تتطابق النقطتان (٢) و (٢أ).

في الدورة المزدوجة، تكون عملية السحب (٠-١) متبوعة بعملية الضغط (١-٢). والعملية (٢-٢أ) هي الطاقة الداخلة للدورة عند حجم ثابت، والعملية (٢أ-٣) هي الطاقة الداخلة عند ضغط ثابت، يستخلص الشغل من الدورة بين النقطتين (٢أ) و(٤)، متبوعًا بالحرارة المطروحة (٤-١). والعملية (١-٠) هي العادم، وهي النقطة التي تبدأ عندها الدورة مرة أخرى. وحجم الأسطوانة عند المركز الميت للمرفق (V_1)، هو الحد الأقصى لحجم الغاز. وحجم الأسطوانة عند المركز الميت للرأس، (V_2) يسمى حجم الخلوص. حيث إن إزاحة الأسطوانة الواحدة هي:

$$V_c = V_1 - V_2 \qquad (٢,٧)$$

الإزاحة (V_e) لمحرك متعدد الأسطوانات هي (V_e) مضروبة في عدد الأسطوانات. ونسبة الضغط للمحرك هي:

$$r = \frac{V_1}{V_2} \qquad (٢,٨)$$

متوسط الضغط الفعال للدورة هو صافي مساحة الرسم البياني (p-v) في الشكل رقم (٢,٥) مقسومة على (V_e). بضرب متوسط الضغط الفعال للدورة في مساحة الكباس وطول المشوار نحصل على الشغل الفعلي المبذول لكل شوط قدرة. ويمكن حساب متوسط الضغط الفعال للدورة من:

$$\frac{P_{cme}}{P_1} = \frac{r - r^k + r\, r_{co}\, \Theta_r - r^{2-k}\, r_{co}^k\, \Theta_f + (k-1)\, r\, \Theta_f\, (r_{co}-1)}{(k-1)(r-1)} \qquad (٢,٩)$$

حيث:

P_{cme} = متوسط الضغط الفعال للدورة، كيلوبسكال

P_1 = الضغط المطلق عند بداية شوط الضغط، كيلوبسكال

$\Theta_r = \lambda(\Theta_3/\Theta_1)(r^{k-1})/(\lambda+1)$

$\lambda = k(\Upsilon^{-1}-1)$

$r_{co} = (\lambda+1)/(\lambda + (\Theta_1/\Theta_3)\, r^{k-1})$ = نسبة قطع الوقود

k = ١,٤ للدورة القياسية للهواء.

الضغط (P_1) يساوي تقريباً الضغط الجوي إلا إذا كان المحرك ذا شاحن تربيني. وتعرف نسبة قطع الوقود بأنها النسبة من شوط القدرة التي تحرر فيها الطاقة من الوقود المحترق في أثناء الدورة. ويمكن حساب كفاءة الدورة من:

$$\eta_{cy} = 1 - \frac{\Upsilon(r_{co}^k - 1) + k(r_{co} - 1)(1 - \Upsilon)}{k\,(r_{co} - 1)}\, r^{1-k} \qquad (٢,١٠)$$

ولا يمكن الحصول علي القيم النظرية لـ (P_{cme}) و (η_{cy}) عمليًا، ولكنها تمثل الحدود العليا للديناميكية الحرارية والأهداف التي يمكن مقارنه التصاميم العملية بها.

مثال رقم (٢,٢)

افترض أن نسبة الضغط لمحرك ديزل يتم سحب الهواء فيه بشكل طبيعي (بدون شاحن تربيني) هي(r) = ١٤,٥ . للظروف النموذجية، قدِّر متوسط الضغط الفعال للدورة وكفاءتها إذا كانت قيمة (Υ) = ٢,٠ .

الحل . هناك حاجة لتقدير النسبة (Θ_3/Θ_1). إذا كانت درجة الحرارة المحيطة ٢٧ °م، حينئذ تكون ($\Theta_1 = 300\ °k$). ومن التطبيقات الشائعة أن تقدر قيمة (Θ_3) بما يساوي درجة حرارة الاشتعال المتزن للوقود الهيدركربوني، بمعنى آخر، ($\Theta_3 = 2700\ °k$). لهذا، فإن التقدير الجيد لمحركات الديزل التي يسحب فيها الهواء بشكل طبيعي هو ($\Theta_3/\Theta_1 = 9$). وحينئذ باستخدام المعادلتين رقمي (٢,٩)، (٢,١٠)، والمعادلة التكميلية التي تساندهما يكون:

$$\Theta_r = 8.078$$

$$r_{co} = 1.114$$

$$P_{cme}/P_1 = 11.36$$

$$\eta_{cy} = 0.655$$

نظريًا، تستطيع الدورة المعينة تحويل ٦٥,٥٪ من الطاقة الداخلة إلى شغل مفيد، ولمحرك ديزل يتم سحب الهواء فيه بشكل طبيعي، تكون (P_1) مساوية تقريبًا للضغط الجوي أو تقريبًا تساوي ١٠٠ كيلوبسكال. وبالتالي (P_{cme}) تساوي ١١٣٦ كيلوبسكال. لايمكن الحصول على كل من الكفاء النظرية ومتوسط الضغط الفعال عمليًا بسبب الاحتكاك وفواقد أخرى، ولكن يمكن الحصول على الأقل على ٧٥٪ من القيم النظرية.

٢,١,٤ فواقد الحرارة والقدرة عند الكباسات

يتم تحـرر الطاقـة من الوقـود عندمـا يحـدث تفـاعل الاحـتراق رقم (٢,٣). وتسبب الطاقة المحررة ارتفاعًا حادًا في ضغط الأسطوانة، ولكن يتلاشى الضغط كلما تحرك الكباس باتجاه المركز الميت للمرفق. ومن خلال أجهزة قياس مناسبة، يمكن الحصول على رسم مشابه للشكل رقم (٢,٥)، فيما عدا رسم الضغط الفعلي للأسطوانة (وليس النظري) مقابل الحجم. وتاريخيًا، رسمت ضغوط الأسطوانة على رسوم بيانية توضيحية ولهذا فإن صافي المساحة في الرسم البياني الفعلي (p-v) مقسومة على (V_e) تسمى متوسط الضغط البياني الفعال (P_{ime}). وبضرب متوسط الضغط البياني الفعال (P_{ime}) في مساحة سطح الكباس نحصل على متوسط القوة المؤثرة على الكباس أثناء شوط القدرة. وبضرب القوة في طول المشوار نحصل على الشغل لكل شوط، وبضرب ذلك في عدد الأشواط لوحدة الزمن نحصل على القدرة البيانية لمحرك ذي أسطوانة واحدة، وأخيراً، بضرب ذلك في عدد الأسطوانات نحصل على القدرة البيانية لكل المحرك. وبوجه عام، يلاحظ أن ناتج ضرب مساحة سطح الكباس في طول المشوار في عدد الأسطوانات يعطي إزاحة (حجم) المحرك (V_e). لهذا، يمكن حساب القدرة البيانية لمحرك (القدرة المولدة عند رؤوس الكباسات) من المعادلة التالية:

$$P_i = \frac{P_{ime}\ V_e\ n_e}{2 * 60,000} \qquad (٢,١١)$$

حيث:

P_i = القدرة البيانية، كيلوواط

P_{ime} = متوسط الضغط البياني الفعال، كيلوبسكال

V_e = إزاحة (حجم) المحرك، لتر

n_e = سرعة المحرك، لفة/د.

وقد وُضع المعامل ٢ في مقام المعادلة رقم (٢,١١) بسبب أنه يلزم دورتان

لعمود المرفق لكل شوط قدرة في محرك ذي دورة رباعية الأشواط . والمعامل ٦٠٠٠٠ هو ببساطة ثابت وحدات . وتبين المعادلة رقم (٢,١١) نقطة مهمة وهي أنه يوجد فقط ثلاث طرق لزيادة قدرة المحرك . وهي : زيادة حجم المحرك (V_e)، زيادة سرعته (n_e)، أو زيادة مستويات الضغط في المحرك (P_{ime}) .

القدرة البيانية دائمًا أقل من القدرة المكافئة للوقود . وتُعرف الكفاءة الحرارية البيانية لمحرك كالتالي :

$$\eta_{it} = \frac{P_i}{P_{fe}} \qquad (٢,١٢)$$

لا يتم تحويل الجزء ($1-\eta_{it}$) من (P_{fe}) إلى شغل ، ولكنه يفقد في شكل حرارة ، الشكل رقم (٢,١) . ويمكن استعادة بعض الحرارة المفقودة باستخدام المبدلات الحرارية إذا كان هناك حاجة لها بالمنطقة المجاورة للمحرك ، وإلا فُقدت الحرارة . وكفاءة الدورة (η_{cy}) هي الحد الأقصى لـ(η_{it}) وتعد هدفًا لمقارنتها بالقيم التي يمكن الحصول عليها لـ(η_{it}) .

٢,١,٥ الفواقد الآلية والقدرة عند الحذافة

تسمى القدرة المتبقية والتي تصل الحذافة بعد طرح فواقد الاحتراق والفواقد الآلية ، قدرة الحذافة . سميت الأجهزه القديمة التي استخدمت لقياس قدرة المحرك باسم فرامل " بروني " ، ولهذا فمن الشائع تسمية قدرة الحذافة بالقدرة الفرملية . ومع التقنية الحديثة ، يستخدم جهاز يسمى جهاز قياس العزم لقياس عزم وسرعة عمود القدرة الموصل لحذافة المحرك . وإذا كانت (T_b) عزم العمود ، فإن الشغل المبذول لكل لفة للعمود يساوي ($2 \pi T_b$) . وحيث إن سرعة المحرك تعطي عدد اللفات في وحدة الزمن ، فإنه يمكن حساب القدرة الفرملية من المعادلة التالية :

$$P_b = \frac{2 \pi T_b n_e}{60{,}000} \qquad (٢,١٣)$$

حيث :

P_b = القدرة الفرملية ، كيلوواط

T_b = العزم الفرملي للمحرك، نيوتن . م .

المعامل ٦٠٠٠٠ هو معامل تحويل وحدات . والكفاءة الآلية (η_m) هي الجزء من (P_i) المحول إلى قدرة فرملية ، الشكل رقم (١ , ٢) وهذا يعني أن :

$$\eta_m = \frac{P_b}{P_i} \quad (٢ , ١٤)$$

ومن التعريف ، كل القدرة البيانية التي لاتحول إلى قدرة فرملية تسمى قدرة الاحتكاك ، بمعني آخر :

$$P_f = P_i - P_b \quad (٢ , ١٥)$$

ما الذي تشمله قدرة الاحتكاك؟ كما يدل عليه الاسم ، تشتمل على كل الاحتكاك بين الأجزاء المتحركة في المحرك ، وتشتمل أيضًا على قدرة تشغيل المروحة ومضخة الزيت ومولد التيار المتاوب والإضافات الأخرى للمحرك .

يهتم مستخدمو المحرك بكفاءته الكلية في تحويل القدرة المكافئة للوقود إلى قدرة فرملية . وتسمى الكفاءة الكلية بالكفاءة الفرملية الحرارية ، بمعنى آخر :

$$\eta_{bt} = \frac{P_b}{P_{fe}} \quad (٢ , ١٦أ)$$

ومن السهل إيضاح أن المعادلة التالية حقيقية :

$$\eta_{bt} = \eta_{it} \cdot \eta_m \quad (٢ , ١٦ب)$$

لهـذا، فإنه من أجل كفاءة كلية جيدة، فإنه يجب على مصممي المحركات تصميم عملية احتراق ذات كفاءة (η_{it} عالية) ويجب نقل نسبة مئوية عالية من القدرة الناتجة إلى الحذافة (η_m عالية).

توضح المعادلة رقم (٢, ١٧) أنه لمحرك معين يدور بسرعة معينة، تتناسب (P_i) مع (P_{bme}). وقد وسع مصممو المحركات تلك الفكرة بتعريف متوسط الضغط الفرملي الفعال، (P_{bme}) كالتالي:

$$P_{bme} = \frac{2 * 60{,}000\ P_b}{V_e\ n_e} \qquad (٢, ١٧)$$

وبتعريف متوسط الضغط الاحتكاكي الفعال (P_{fme}) كالتالي:

$$P_{fme} = \frac{2 * 60{,}000\ P_f}{V_e\ n_e} \qquad (٢, ١٨)$$

في محرك الديزل، (P_{fme}) هي تقريبًا بالكامل بدلالة السرعة، وهذا يعني:

$$P_{fme} = C_0 + C_1\ n_e + C_2\ n_e^2 \qquad (٢, ١٩)$$

حيث (C_0)، (C_1) و(C_2) ثوابت تختلف من محرك لآخر والقيمة التقريبية التالية تقدمت بها جمعية مهندسي العربات (SAE) بغرض تقدير الكفاءة الآلية لمحرك الديزل:

$$C_0 = 139.3 \text{ kPa}$$

$$C_1 = -\ 0.0259 \text{ kPa.rev/min}$$

$$C_2 = 22.97 * 10^{-6} \text{ kPa/(rev/min)}^2$$

ويمكن الحصول على قيم أكثر دقة لمحرك معين بإعداد منحنى لقيم متوسط

الضغط الاحتكاكي الفعال عند سرعات مختلفة للمحرك. والنتيجة العملية المهمة للمعادلة رقم (٢,١٩) هي أنه يمكن تقليل القدرة الاحتكاكية للمحرك وزيادة كفاءته وذلك بإدارة المحركات بسرعات منخفضة.

يُشجع القارىء باشتقاق علاقة بين عدة متوسطات للضغط الفعال وأن يُعبر عن(η_m) بمصطلحات متوسطات الضغط الفعال.

٢,١,٦ عزم المحرك وتحميل المحرك بكفاءة

دمج المعادلات أرقام (٢,١)، (٢,١٢)، (٢,١٣)، (٢,١٥) و(٢,١٨) يُعطي معادلة ذات نظرة عميقة عن كيفية إنتاج المحرك للعزم، بمعنى آخر:

$$T_b = \frac{H_g\ \eta_{it}}{4\pi}\left(\frac{C_f\ \dot{m}_f}{n_e}\right) - \frac{V_e}{4\pi} P_{fme} \qquad (٢,٢٠)$$

حيث:

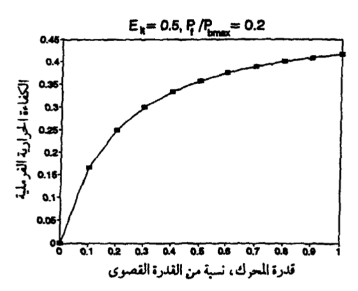
C_f = ٢ × ١٠٠٠ / ٦٠ = معامل تحويل وحدات

$(C_f * \dot{m}_f / n_e)$ = جرامات الوقود المحقونة لكل دورة من المحرك.

في المعادلة رقم (٢,٢٠)، الحد المحصور بين إشارتي المساواة والطرح يسمى العزم البياني، بينما الحد الأخير في المعادلة هو عزم الاحتكاك. ولهذا، فالعزم الصافي أو الفرملي يساوي العزم البياني مطروحًا منه عزم الاحتكاك. حيث إن القيمة الحرارية للوقود (H_g) ثابتة و تتغير(η_{it}) فقط قليلاً مع التغيرات في العزم والسرعة، ويتناسب التغير في العزم البياني تقريبًا مع كمية الوقود المحقونة في كل دورة للمحرك. وكما سيتم شرحه في الجزء رقم (٢,٢,٧)، فإنه يتم التحكم في كمية الوقود المحقونة في كل دورة بواسطة حاكم المحرك.

وبدمج المعادلات أرقام (٢,١٢)، (٢,١٥) و (٢,١٦أ) نحصل على المعادلة التبادلية التالية للكفاءة الحرارية الفرملية:

$$\eta_{bt} = \eta_{it}\ P_b\ /\ (P_b + P_f) \qquad (٢,١٦ج)$$



شكل ٦ , ٢ . التغير في الكفاءة الحرارية الفرملية مع تحميل المحرك.

الشكل رقم (٦ , ٢) هو رسم للمعادلة رقم (١٦ , ٢جـ) ويشرح العلاقة بين كفاءة المحرك والحمل. تكون كل المحركات أكثر كفاءة عند الحمل الكامل، وتكون غير فعالة عندما يقترب الحمل من الصفر خاصة.

وقد طور مصممو المحركات المصطلح (SFC) الاستهلاك النوعي للوقود للدلالة على كمية الوقود التي يتم حرقها بواسطة المحرك لإتمام كمية معينة من الشغل. وتعرف كالتالي:

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{power} \qquad (٢, ٢١)$$

وبسبب الفواقد عند نقل القدرة، فإنه من المهم استخدام صفة مع الاستهلاك النوعي للوقود (SFC) لتوضيح نقطة قياس القدرة. والمصطلحان الأكثر شيوعاً للاستهلاك النوعي للوقود فيما كُتب في ذلك الموضوع هما (BSFC) للاستهلاك النوعي الفرملي للوقود، ويعني هذا، أنه عندما يكون مقام المعادلة رقم (٢١ , ٢) هو

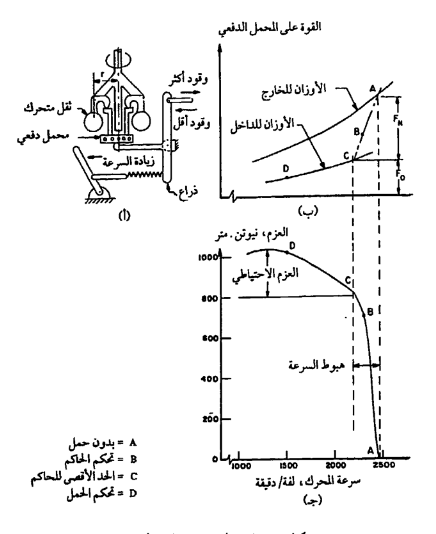
القدرة الفرملية، فإن (ISFC) يكون للاستهلاك النوعي البياني للوقود (SFC) . مثل (η_{bt}) و(BSFC) دليل على الكفاءة الكلية للمحرك، فيما عدا كون (BSFC) منخفضة عندما يعمل المحرك بكفاءة أكثر.

٢,١,٧ التحكم في سرعة المحرك

من المرغوب فيه أداء عمليات زراعية كثيرة عند سرعة ثابتة تقريبًا. ويقوم الحاكم بالتحكم في السرعة، وذلك بتقليل توصيل الوقود إلى المحرك، عندما تكون السرعة عالية جداً، وبزيادة توصيل الوقود إلى المحرك عندما تكون السرعة منخفضة جداً. ويوضح الشكل رقم (٢,٧) حاكمًا ذا ثقل متحرك. والأثقال المتحركة موصلة إلى عمود الحاكم مفصليًا، وهي تدور عادة بنصف سرعة عمود المرفق. ففي الوحدة البيانية في الشكل رقم (٢,٧أ)، تتسبب القوة الطاردة المركزية الناتجة عن زيادة سرعة المحرك في ميل الأثقال باتجاه الخارج، وتقوم أذرعة الأثقال المتحركة بدفع المحمل الدفعي إلى أسفل. تدور أذرعة الحاكم باتجاه معاكس لاتجاه دوران عقارب الساعة، مسببة تمدد الزنبرك وتقليل توصيل الوقود. وبالعكس، يسمح انخفاض سرعة المحرك بانكماش الزنبرك، دافعًا بذلك الأثقال المتحركة للداخل مما يزيد توصيل الوقود.

تتغير القوة الحثية على المحمل الدفعي بواسطة القوة الطاردة المركزية الناتجة من الأثقال المتحركة بالتناسب مع نصف قطر مسار الأثقال المتحركة، ومع مربع سرعة المحرك. ويوضح الشكل رقم (٢,٧ب) منحنيات حالات التحديد عندما يكون نصف قطر المسار أصغر ما يمكن (الأثقال في الداخل)، وأيضًا عندما يكون نصف قطر المسار أكبر مايمكن (الأثقال في الخارج). ويستطيع الحاكم العمل فقط بين هذين المنحنيين.

إذا استقبل محرك غير متحكم به وقوداً حتى ولو بمعدل معتدل وكان يعمل بدون حمل، فسرعان ماتصبح السرعة زائدة وتدمر المحرك. على أية حال، في المحرك المتحكم به، سوف تميل الأثقال المتحركة إلى الخارج حتى نهايتها مما يقلل توصيل الوقود إلى مستو يكفي فقط لتزويد قدرة الاحتكاك للمحرك. وسوف يعمل



شكل ٢,٧. طريقة عمل الحاكم.

المحرك عند النقطة (A) في الشكلين رقمي (٢,٧ ب) و (٢,٧جـ)، والتي تسمى نقطة اللاحمل العالية؛ لأن السرعة تكون عالية والمحرك غير محمل (لا يقوم بأي شغل). وبزيادة تطبيق حمل العزم على المحرك، تتحرك أثقال الحركة للداخل، فتزيد مشوار مضخة حقن الوقود لتزود المحرك بالوقود اللازم لإعطاء ذلك العزم، انظر المعادلة رقم (٢,٢٠). وعند النقطة (C) في الشكل رقم (٢,٧)، تكون الأثقال المتحركة في أقصى وضع للداخل ولا تستطيع تحريك أذرعة الحاكم، أو زيادة مشوار مضخة

الحقن أكثر مـن ذلك ؛ لهـذا تسمـى تلك النقطة (C)، الحـد الأقصى للحاكم . بإجراء زيادات أخرى للعزم، تبدأ السرعة بالانخفاض سريعًا؛ بسبب عدم قدرة الحاكم على زيادة توصيل الوقود لكل دورة. عند النقاط الواقعة على يسار النقطة (C) في الشكل رقم (٧ , ٢جـ)، يتم التحكم بالسرعة فقط بواسطة حمل العزم الواقع على المحرك. ولهذا يكون المحرك واقعًا تحت تأثير التحكم بالحاكم في النقاط الواقعة بين (A) و(C) ويكون واقعًا تحت تأثير التحكم بالحمل في النقاط الواقعة يسار النقطة (C) . الزيادات في العزم تكون متاحة في مدى التحكم بواسطة الحمل بسبب انحسار عزم الاحتكاك مع السرعة، انظر المعادلة رقم (٢٠ , ٢)، وبسبب أن مضخات الحقن تكتسب كفاءة ضخ إلى حد ما كلما نقصت السرعة.

لاتستطيع الحواكم الاحتفاظ بسرعة منتظمة تمامًا، حتى في مدى التحكم بالحاكم. انتظام الحاكم، المحسوب بالمعادلة رقم (٢٢ , ٢) هو قياس لمدى دقة تحكم الحاكم بسرعة المحرك.

$$Reg_g = \frac{200\,(n_{HI} - n_{GM})}{(n_{HI} + n_{GM})} \qquad (٢ , ٢٢)$$

حيث :

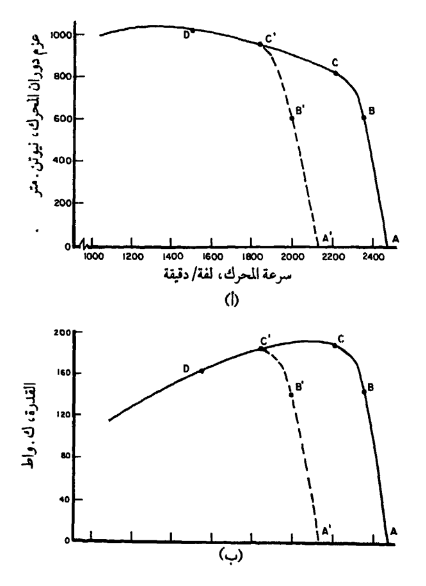
Reg_g = انتظام الحاكم، ٪

n_{HI} = سرعة المحرك عند نقطة اللاحمل العالية، لفة/ د

n_{GM} = سرعة المحرك عند الحد الأقصى للحاكم، لفة/ د .

توضح المنحنيات في الشكلين رقمي (٧ , ٢ب) و (٧ , ٢جـ) حاكماً يضبط محركاً عند وضع سرعة واحدة. بتحريك الذراع اليدوي إلى اليمين، يستطيع العامل التقليل من الشد المبدئي لزنبرك الحاكم، وبذلك يقلل السرعة اللازمة لتحريك الأثقال المتحركة إلى الخارج. يكون التأثير هو تحريك منحنى (ABC) إلى اليسار، حيث يقابل منحنى التحكم بالحمل عند بعض القيم العالية للعزم، انظر الشكل رقم (٨ , ٢أ). وبالعكس، إذا سمح توقف الذراع بذلك، فإن العامل يستطيع زيادة وضع

سرعة المحرك بتحريك ذراع التحكم في السرعة إلى اليسار، نمطياً يقرر مصنعو المحركات محركاتهم على السرعة القصوى للحاكم والتي تتطابق مع أسرع وضع للحاكم. على سبيل المثال في الشكل رقم (٢,٨)، السرعة القصوى للحاكم تكون عند ٢٢٠٠ لفة/ د وتلك هي السرعة المقررة للمحرك.



شكل ٢,٨. منحنيات العزم مقابل السرعة والقدرة مقابل السرعة لمحرك متحكم به (مزود بحاكم).

كما هو موضح في الشكل رقم (٧ , ٢جـ)، يعرَّف العزم الاحتياطي بأنه الفرق بين عزم الذروة للمحرك والعزم عند السرعة المقررة. ويرغب في عزم احتياطي كبير لمنع التوقف المفاجيء للمحرك في أثناء الأحمال اللحظية الزائدة. يُعبر عن العزم الاحتياطي بنسبة من العزم المقرر، على سبيل المثال، في الشكل رقم (٧ , ٢جـ)، كان عزم الذروة هو ١٠٢٠ نيوتن. م. والعزم عند السرعة المقررة هو ٨٢٠ نيوتن. م، وبذلك يكون العزم الاحتياطي ٢٤,٤٪. ومن المرغوب فيه أيضًا أن يكون عزم الذروة إلى يسار الحد الأقصى للحاكم. في الشكل رقم (٧ , ٢جـ)، يحدث عزم الذروة عند ١٣٠٠ لفة / د، بينما تكون السرعة المقررة هي ٢٢٠٠ لفة/ د. لهذا يظهر عزم الذروة عند نسبة ٥٩٪ من السرعة المقررة.

يوضح الشكل رقم (٨ , ٢ب) منحنى القدرة مقابل السرعة الناتج من منحنى العزم مقابل السرعة للشكل رقم (٨ , ٢أ). من المعادلة رقم (١٣ , ٢)، تزداد القدرة تقريبًا خطيًا مع العزم في مدى التحكم بالحاكم بسبب التغير القليل في السرعة. يتغير العزم تغيراً بسيطًا فقط في مجال التحكم بالحمل، ولذلك تنخفض القدرة بتناسب طردي مع الانخفاض في السرعة. يُسوِّق بعض مصنعي المحركات محركات ثابتة القدرة، هي محركات يزداد بها العزم بدرجة كافية لتعويض الانخفاض في السرعة في مجال التحكم بالحمل، بحيث لاتبدأ القدرة في الانخفاض حتى تتحرك العملية مسافة صغيرة في مجال التحكم بالحمل.

٨ , ١ , ٢ الشحن التربيني والمحركات ذات المبردات الإضافية

تزداد القدرة المولدة في المحرك بالتناسب مع معدل إمداد الوقود، كما تشير إليه المعادلة رقم (١ , ٢). ولإبقاء نسبة التكافؤ أقل من ٠,٧ ، كما أشير إليه في الجزء رقم (٣ , ٢ , ٢)، يجب أن يكون معدل توصيل الهواء أكثر منه للوقود، لهذا فإن سعة تداول الهواء هي التي تحد - في الحقيقة - من سعة إنتاج المحرك للقدرة. ويمكن حساب سعة تداول الهواء باستخدام المعادلة التالية:

$$\dot{m}_a = C_a \, V_e \, n_e \, \rho_a \, \eta_v \qquad (٢ , ٢٣)$$

حيث :

$\dot{m}_a$ = سعة تداول الهواء، كجم/ ساعة

C_a = ٠,٠٣ ثابت تحويل وحدات

V_e = إزاحة المحرك، ل

n_e = سرعة دوران المحرك، لفة/ د

ρ_a = كثافة الهواء الداخل للمحرك، كجم/ م^3

η_v = الكفاءة الحجمية للمحرك، كسر عشري.

الكفاءة الحجمية هي قياس كفاءة ضخ الهواء لمحرك. وهي تساوي نسبة السعة الفعلية لتداول الهواء، إلى السعة النظرية التي يمكن الحصول عليها عند نفس سرعة المحرك، إذا ملئت كل أسطوانة بالكامل بهواء تحت الضغط الجوي في أثناء كل شوط سحب. وإذا لم يكن للمحرك شاحن تربيني، ينخفض الضغط في جهاز السحب، مسببًا انخفاض الكفاءة الحجمية إلى أقل من الواحد. وبالعكس، يوصل الشاحن التربيني هواءً مضغوطًا لجهاز السحب، ويمكن أن تكون الكفاءة الحجمية أكبر من واحد. ويمكن استخدام المعادلة التالية، والتي اشتقت من قانون الغازات المثالية، لحساب (ρ_a) إذا عرف كل من الضغط البارومتري ودرجة الحرارة المحيطة :

$$\rho_\alpha = \frac{29\ p_a}{8.314\ \Theta_a} \qquad (٢,٢٤)$$

حيث :

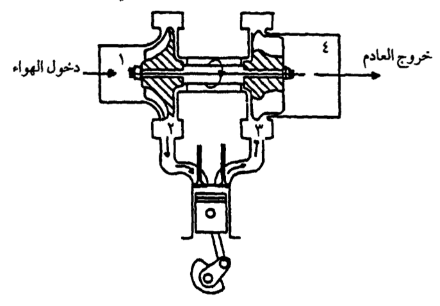
p_a = ضغط الهواء، بمعني آخر الضغط البارومتري، كيلوبسكال

Θ_a = درجة حرارة الهواء المحيط، °ك.

تحت معظم الظروف الجوية، تتراوح (ρ_a) بين ١,١ و ١,٢ كجم/ م^3 .

الكفاءة الحجمية لمحرك ديزل نمطي، يتم سحب الهواء فيه بشكل طبيعي، تساوي تقريبًا ٠,٨٥ ، ويمكن زيادة سعة تداول الهواء المسحوب بشكل طبيعي لمحرك

ديزل فقط بزيادة إزاحة أو سرعة المحرك. وبوجه عام، يمكن زيادة كل من الكفاء الحجمية وسعة تداول الهواء زيادة كبيرة بإضافة شاحن تربيني للمحرك.



شكل ٢,٩. فكرة الشاحن التربيني.

تشغيل الشواحن التربينية. يتكون الشاحن التربيني من ضاغط موصل مباشرة إلى تربين يدار بغازات العادم، كما هو موضح في الشكل رقم (٢,٩). يدخل الهواء الجوي إلى الضاغط عند النقطة ١ ويضغط قبل دخوله إلى مُشعب السحب عند النقطة ٢. وتقوم غازات العادم الساخنة الخارجة من مُشعب العادم عند النقطة ٣ بإدارة التربين قبل خروجها عند النقطة ٤. لهذا، يستخدم الشاحن التربيني الطاقة المستخلصة من عادم المحرك لضغط الهواء الداخل إلى غرفة الاحتراق. التعزيز هو الزيادة في الضغط المعطى بالضاغط، بمعنى آخر:

$$boost = p_2 - p_1 \qquad (٢,٢٥)$$

حيث (p_1) و (p_2) هما الضغطان المطلقان عند النقطتين ١ و٢، على الترتيب. وأيضًا تكون نسبة الضغط عبر الضاغط (p_{rc}) هامة وتعرف بأنها:

$$p_{rc} = \frac{p_2}{p_1} \quad (٢,٢٦)$$

يمكن حساب نسبة درجة الحرارة عبر الضاغط (Θ_{rc}) من المعادلة التالية:

$$\Theta_{rc} = \frac{\Theta_2}{\Theta_1} = 1 + \frac{P_{rc}^{0.286} - 1}{\eta_c} \quad (٢,٢٧)$$

حيث:

η_c = كفاءة الضاغط.

يكون الشاحن التربيني غير فعال حينما لايكون المحرك محملاً. وتزداد فعالية الشاحن التربيني كلما ازداد الحمل على المحرك وذلك بسبب أن الجزء ($1-\eta_{it}$) من الوقود الزائد الموصل يتاح لإدارة التربين. ويصل الشاحن التربيني إلى أقصى فعالية له قرب الحد الأقصى للحاكم. وحينما يُحمَّل المحرك بشكل جيد، يمكن تقدير كفاءته الحجمية بدقة مقبولة باستخدام المعادلة التالية:

$$\eta_v = P_{rc} / \Theta_{rc} \quad (٢,٢٨أ)$$

والمعادلة رقم (٢,٢٨) غير مناسبة للاستخدام حينما لايكون المحرك محملاً، لكن عندئذ تكون (η_v) قريبة جداً من ٠,٨٥. ويشرح المثال رقم (٢,٣) استخدام المعادلات أرقام من (٢,٢٣) إلى (٢,٢٨أ).

مثال رقم (٢,٣)

شاحن تربيني مركب مع محرك سعته ٦,٥ لتر. ويرغب في ضغط معزز مقداره ١١٠ ك. بسكال عند تشغيل المحرك على الحمل الكامل عند سرعة ٢٢٠٠ لفة/ د. خريطة ضاغط الشاحن التربيني موضحة في الشكل رقم (٢,١٠). الظروف المحيطة هي ٢٧ °م، ١٠٠ كيلوبسكال. احسب الآتي: (أ) معدل سريان الهواء بالضاغط، (ب) كفاءة الضاغط، (جـ) سرعة الضاغط.

الحل . من المعادلة رقم (٢٤ , ٢)، كثافة الهواء المحيط هي :

$$\rho_a = 29 * 100 / (8.314 * 273 + 27) = 1.16 \text{ kg/m}^3$$

من المعادلتين رقمي(٢٥ , ٢) و(٢٦ , ٢) نسبة الضغط المرغوبة عبر الضاغط هي :

$$p_{rc} = (p_1 + \text{boost}) / p_1 = (100 + 110) / 100 = 2.1$$

يجب حل بقية المثال بالتكرار، وذلك لأن كفاءة الضاغط، الكفاءة الحجمية للمحرك، وسريان الهواء في المحرك غير معروفة مع كونها توابع متداخلة . يبدأ الحل بفرض أن كفاءة الضاغط ٧٠٪ ثم من المعادلة رقم (٢٧ , ٢)، يكون التقدير المبدئي لنسبة درجة الحرارة :

$$\Theta_{rc} = 1 + (2.1^{0.286} - 1) / 0.7 = 1.338$$

وتكون الكفاءة الحجمية المقدرة من المعادلة رقم (٢٨ , ٢أ):

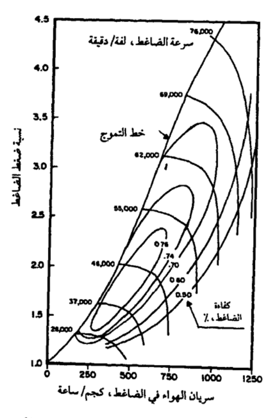
$$\eta_v = 2.1 / 1.338 = 1.57$$

وأخيراً، من المعادلة رقم (٢٣ , ٢) يكون التقدير المبدئي لسريان الهواء في المحرك :

$$\dot{m}_a = 0.03 * 6.5 * 2200 * 1.16 * 1.57 = 781 \text{ kg/h}$$

نستطيع الآن التأكد من دقة الاختيار المبدئي لكفاءة الضاغط . من الشكل رقم (١٠ , ٢)، عندما تكون نسبة الضغط ١ , ٢ وسريان الهواء ٧٨١ كجم/ الساعة، تكون كفاءة الضاغط المقابلة ٧٢٪ . وباستخدام القيمة الجديدة لكفاءة الضاغط ،

يكون التقدير الجديد لنسبة درجة الحرارة ١,٣٢٨ وتكون القيمة الجديدة للكفاءة الحجمية ١,٥٨ ، والقيمة الجديدة لسريان الهواء ٧٨٧ كجم/ الساعة . من الشكل رقم (٢,١٠)، كفاءة الضاغط المقابلة لنسبة ضغط ٢,١ وسريان هواء ٧٨٧ كجم/ الساعة تقارب جداً ٧٢٪، ولذلك فلا حاجة لتكرار أكثر من ذلك. لهذا (أ) سريان الهواء في المحرك ذي الشاحن التربيني سوف يكون ٧٨٧كجم/ الساعة ، (ب) كفاءة الضاغط سوف تكون ٧٢٪ و (جـ) بالاستكمال بين منحنيات السرعة المتجاورة على الشكل رقم (٢,١٠)، تكون سرعة الضاغط ٥١٠٠٠ لفة/ د تقريبًا. ويجب ملاحظة أن دمج نسبة الضغط - سريان الهواء إلى يسار المنحنى المتموج في الشكل رقم (٢,١٠) ينتج سريان هواء غير مستقر ومتموج وبهذا يكون غير مقبول. حل المثال رقم (٢,٣) يكون يمين المنحنى المتموج ولذلك يكون مقبولاً .



شكل ٢,١٠. خريطة ضاغط الشاحن التربيني.

اختيار نقطة تشغيل الضاغط لاتحل مشكلة تركيب شاحن تربيني بمحرك، ولذلك فإنه من الضروري أيضًا اختيار نقطة تشغيل متوافقة للتربين. ويجب إدارة التربين على نفس سرعة الضاغط حتى يتم تزويد الضاغط بالقدرة الضرورية لإدارته. إضافة إلى ذلك، فإن معدل السريان خلال الضاغط يكون $(\dot{m}_a\,(1+FA))$ حيث (FA) هي نسبة الوقود إلى الهواء للمحرك ذي الشاحن التربيني، وذلك هو المعدل الكتلي لسريان الهواء مقسومًا على المعدل الكتلي لسريان الوقود. تستخدم خريطة التربين (غير موضحة في هذا الكتاب) للتأكد من أن القيم المختارة لمعدل السريان للتربين، نسبة الضغط، السرعة والكفاءة هي قيم متوافقة تبادليًا.

المبردات الإضافية. يمكن استخدام المعادلة رقم (٢,٢٧) لتوضيح أن درجة حرارة الهواء عند تركه الضاغط يمكن أن تكون حارة جدًا، وبمعنى آخر، أنها أعلى بكثير من درجة حرارة غليان الماء. قد يستخدم المبرد الإضافي (يسمى أحيانًا المبرد اللاحق) لتقليل درجة حرارة الهواء المضغوط. المبرد الإضافي هو مبادل حراري يمر من خلاله الهواء المضغوط ليعطي طاقة حرارية لسائل ثانوي. سائل تبريد المحرك هو الأكثر شيوعًا لاستخدامه سائلاً ثانويًا، ولكن يستخدم الهواء المحيط في بعض المبردات الإضافية. المبرد الإضافي هو عملية ذات ضغط ثابت. عند استخدام مبرد إضافي، يمكن تقدير الكفاءة الحجمية للمحرك ذي الشاحن التربيني والمبرد بمبرد إضافي باستخدام المعادلة التالية:

$$\eta_v = \frac{p_{rc}}{\Theta_{rc}} \cdot \frac{\Theta_2}{\Theta_{2i}} \qquad (٢,٢٨ب)$$

حيث:

Θ_2 = درجة حرارة الهواء الخارج من الضاغط، °ك

Θ_{2i} = درجة حرارة الهواء الخارج من المبرد الإضافي، °ك.

الشحن التربيني والتبريد الإضافي للاستخدامات المتعددة. في السنوات الأخيرة، استخدم مصنعو المحركات الشحن التربيني والتبريد الإضافي

لتقليل تكاليف تصنيع عائلة من المحركات والحفاظ على مخزون من قطع الغيار للمحركات. الخطوة مشروحة في المثال رقم (٤ , ٢).

مثال رقم (٤ , ٢)

يريد صانع محركات توفير أربعة نماذج من المحركات من تصميم أساسي لمحرك ديزل ذي ست أسطوانات سعته ٦٣٦ , ٧ لترًا، ليعمل عند سرعة مقررة تساوي ٢٢٠٠ لفة/ د. مستويات القدرة المرغوبة للمحركات الأربعة هي زيادتها بـ ١٥ كيلوواط تقريبًا من مستوى أساسي مقداره ٧٥ كيلوواط لمحرك ذي سحب طبيعي للهواء. كيف يجب استخدام الشحن التربيني والتبريد الإضافي لتحقيق هذا الهدف؟ يستخدم المبرد الإضافي سائل تبريد المحرك بصفته سائلاً ثانويًا، المثبت التلقائي لدرجة الحرارة يثبت درجة حرارة سائل التبريد عند ٩٠ °م. أظهرت الاختبارات أن المحرك الذي يتم فيه سحب الهواء بشكل طبيعي يكون استهلاكه النوعي للوقود عند القدرة الفرملية(BSFC) ٣ , ٠ كجم/ كيلوواط.ساعة.

الحل. الظروف الجوية المفترضة هي ٣٠٠ °ك، و١٠٠ كيلوبسكال. ولهذا تكون كثافة الهواء المحيط من المعادلة رقم (٢٤ , ٢):

$$\rho_a = (29 / 8.314)\ (100 / 300) = 1.16\ \text{kg/m}^3$$

بافتراض أن (η_v) = ٨٥ , ٠ للمحرك الأساسي الذي يتم فيه سحب الهواء بشكل طبيعي، المعادلة رقم (٢٣ , ٢) تعطي استهلاك هواء كالتالي:

$$\dot{m}_a = 0.03 * 7.636 * 2200 * 1.16 * 0.85 = 497\ \text{kg/h}$$

سوف يكون الوقود المستهلك لمحرك قدرته ٧٥ كيلوواط لمحرك يتم فيه سحب الهواء بشكل طبيعي هو:

$$\dot{m}_f = P_b * BSFC = 75 * 0.3 = 22.5\ \text{kg/h}$$

النسبة المكافئة للهواء إلى الوقود لوقود الديزل هي ٩ , ١٤ ، انظر المثال رقم (١ , ٢) والنسبة الفعلية للهواء إلى الوقود $\frac{٤٩٧}{٢٢,٥}$ = ١ , ٢٢ . لهذا، من المعادلة رقم (٢ , ٢ب)، تكون نسبة التكافؤ (ϕ) لمحرك يتم فيه سحب الهواء بشكل طبيعي :

$$\phi = 14.9 / 22.1 = 0.674$$

وقيمة نسبة التكافؤ (ϕ) هذه أقل بكثير من القيمة العظمي الموصى بها وهي ٧ , ٠ التي تمت مناقشتها في الجزء رقم (٣ , ٢ , ٢) .

وللمحرك ذي القدرة ١٢٠ كيلوواط، يفترض أن يضاف شاحن تربيني ليعطي تعزيزاً مقداره ٩٠ كيلوبسكال . وعندئذ ، من المعادلتين رقمي (٢٥ , ٢) و (٢٦ , ٢)، (P_{rc}) = ٩ , ١ . القيمة المعقوله لكفاءة الضاغط هي (η_c) = ٧ , ٠ ، من المعادلة رقم (٢٧ , ٢) يكون :

$$\Theta_{rc} = \Theta_2 / \Theta_1 = 1 + (1.9^{0.286} - 1) / 0.7 = 1.288$$

وحيث إن (Θ_1) = ٣٠٠ °ك (٢٧ °م)، يلاحظ أن درجة حرارة الهواء لحظة تركه الضاغط سوف تكون = ٢٢٨ , ١ × ٣٠٠ = ٣٨٦ °ك (١١٣ °م)، والذي يعد حاراً جداً. لهذا سوف يضاف مبرد إضافي، حيث يستطيع تقليل درجة حرارة الهواء في حدود ١٠ °م من درجة حرارة سائل التبريد، بمعنى آخر يقللها إلى ١٠٠ °م (٣٧٣ °ك) . من المعادلة رقم (٢٨ , ٢ب)، وسوف تكون الكفاءة الحجمية المقدرة لمحرك قدرته ١٢٠ كيلوواط ، مشحون تربينيًا، ومبرد إضافيًا (TC, IC) كالتالي :

$$\eta_v = (1.9 / 1.288)\ (386 / 373) = 1.53$$

ثم باستخدام القيمة الجديدة لـ (η_v) في المعادلة رقم (٢٣ , ٢) سوف يكون استهلاك الهواء لمحرك يشحن تربينيًا ويبرد إضافيًا ٨٩٥ كجم/ ساعة . وبافتراض بقاء الاستهلاك النوعي للوقود على أساس القدرة الفرملية . (BSFC) عند ٣ , ٠

كجم/ كيلوواط . ساعة ، سوف يكون معدل توصيل الوقود تقريبًا هو :

$$\dot{m}_f = P_b * BSFC = 120 * 0.3 = 36 \text{ kg/h}$$

ويعد صنع المحرك، يمكن ضبط المعدل الفعلي لتوصيل الوقود ليعطي قدرة فرملية مرغوبة مقدارها ١٢٠ كيلوواط بالضبط . وتكون قيمة نسبة التكافؤ (ϕ) المقابلة لمعدل توصيل وقود ٣٦ كجم/ ساعة هي :

$$\phi = 14.9 / (895 / 36) = 0.60$$

الزيادة المقترحة في معدل توصيل الوقود من ٢٢,٥ كجم/ ساعة لمحرك قدرته ٧٥ كيلوواط ، يتم سحب الهواء فيه بشكل طبيعي إلى ٣٦ كجم/ ساعة لمحرك قدرته ١٢٠ كيلوواط مشحون تربينيًا ومبرد إضافيًا، سوف تكون مقبولة طالما أن نسبة التكافؤ (ϕ) سوف تبقى أقل من ٠,٧ .

يمكن الحصول على المحركات ذات الأحجام المتوسطة (٩٠ و ١٠٥ كيلوواط) باستخدام معدلات مناسبة لإمداد الوقود، سوف تكون المعدلات تقريبًا = ٩٠ × ٠,٣ = ٢٧ كجم/ ساعة و ١٠٥ × ٠,٣ = ٣١,٥ كجم/ ساعة لمحركين قدرتهما ٩٠ و ١٠٥ كيلو واط على التوالي. تكون تلك المعدلات لإمداد الوقود أقل من ٣٦ كجم/ ساعة المستخدمة للمحرك ذي القدرة ١٢٠ كيلوواط، سوف يقلل ذلك من تعزيز الشحن التربيني لضغط تحت ٩٠ ك. بسكال. وسوف تنخفض درجة حرارة الهواء الخارجة من الضاغط (Θ_2) تحت ١١٣ °م المحسوبة للمحرك المشحون تربينيًا والمبرد إضافيًا. فإذا انخفضت (Θ_2) إلى مايقارب ١٠٠ °م أو أقل، سوف لايوجد فارق كاف في درجة الحرارة أعلى من درجة حرارة سائل التبريد تسمح بتبريد الهواء. ولهذا يكون التبريد الإضافي غير عملي فيما عدا للمحرك ذي القدرة ١٢٠ كيلوواط .

باختصار، يمكن الحصول على عائلة من أربع محركات تتراوح قدراتها من ٧٥ إلى ١٢٠ كيلوواط من محرك أساسي واحد. سوف تشتمل العائلة على محرك قدرته ٧٥ كيلوواط ، يتم سحب الهواء فيه بشكل طبيعي، وعلى محركين قدرتهما

٩٠ و ١٠٥ كيلوواط مشحونين تربينيًا وعلى محرك قدرته ١٢٠ كيلوواط مشحون تربينيًا ومبرد إضافيًا. وميزة ذلك هي أن جميع المحركات الأربعة، سوف تشترك في مخزون عام، لقطع الغيار فيما عدا المضخات الكبيرة لحقن الوقود ورشاشات الوقود التي يجب استخدامها في المحركات الأكبر. ويجب إعادة تصميم المحركات الثلاثة الصغيرة، حتى يكون لها نفس قوة المحرك ذي القدرة ١٢٠ كيلوواط. وقد عوض عن هذا العيب بدرجة كبيرة بالتقليل الهائل في مخزون قطع الغيار، وبهذا يكون مصنعو المحركات تبنوا استراتيجية المثال رقم (٤ ,٢).

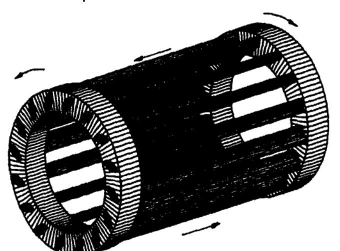
٢ ,٢ المحركات الكهربائية

المحركات الكهربائية هي أجهزة تحول القدرة الكهربائية إلى قدرة آلية. وهي لاتشبه محركات الاحتراق التي قد تتوقف فجأة، ويزداد استهلاكها من الوقود بزيادة تحميلها، وسوف يستمر المحرك الكهربائي في امتصاص الكهرباء عند زيادة تحميله. ولمنع التدمير الذاتي، يجب توفير وسائل لمنع التسخين الزائد للمحرك الكهربائي، فتحلل المادة العازلة للملفات. وعادة يتم تزويدها بواق حراري لفصل القدرة الكهربائية حينما تصل درجة حرارة الملفات إلى حد معين.

١ ,٢ ,٢ مكونات المحرك

يتوفر أنواع متعددة من المحركات الكهربائية للاستخدام التجاري، ولكن تشترك جميع المحركات في صفات معينة شائعة. الإطار الذي يمسك كل الأجزاء في وضعها الصحيح. المحامل (كمية، أسطوانية، كروية) التي تمسك العمود الدوار في الإطار. يشتمل الجزء الثابت (المخدات) على ملفات كهربائية على قلب مغناطيس ذي رقائق. وترتب الملفات لإعطاء قطبين كهربائيين على الأقل، هما قطب شمالي وآخر جنوبي. وينتج التيار الكهربائي الذي يسري عبر الملفات مجالاً مغناطيسيًا عبر العضو الدوار، الذي يدور مع عمود المحرك. وتساعد مروحة بداخل المحرك في تبريده. يكون لأغلفة بعض المحركات الكهربائية زعانف (أجنحة تبريد) خارجية للمساعدة في التبريد. ويلحق بالمحرك غلاف طرفي بغطاء متحرك للتمكن من

الوصول إلى أسلاك معينة داخل المحرك. تتوفر وسائل للتجهيز بسلك طرفي أرضي في الغلاف الطرفي على معظم المحركات. وأخيراً توجد المعلومات المتعلقة بالأسلاك الداخلية واستخدامات المحرك على لوحة الاسم الملحقة به.

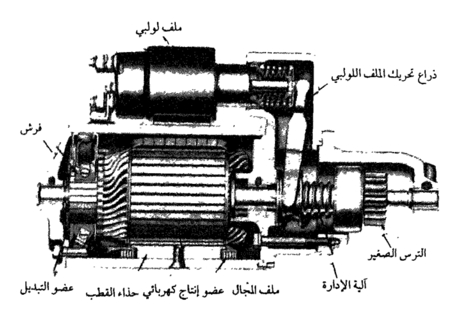


شكل ٢,١١. عضو دوار بشكل قفص السنجاب لمحرك كهربائي.

٢,٢,٢ تصنيفات المحرك

توجد أربعة أنظمة للتصنيف تساعد على وصف الاختلافات بين المحركات. ويمكن تصنيف المحركات حسب نوع القدرة الكهربائية المطلوبة، وهي: أولاً تيار متناوب (a c) أو تيار مستمر (d c). ثانيًا، يمكن أن تكون القدرة الكهربائية للتيار المتناوب أحادية الطور (-1) أو ثلاثية الطور (-3). ويمكن تصميم العضو الدوار كقفص السنجاب أو كعضو دوار ذي لفائف. وتصميم قفص السنجاب أقل تكلفة بسبب عدم وجود ملفات به، وبالأحرى، تسري تيارات الحث في القضبان ولوحات النهاية، الشكل رقم (٢,١١). والعضو الدوار ذو اللفائف له عدة لفات (دوائر) من أسلاك ملفوفة على العضو الدوار. العضو الدوار ذو اللفائف المبين في الشكل رقم (٢,١٢) هو لمحرك ذي تيار مستمر يستخدم كبادىء حركة كهربائي، لكن تتوفر أيضًا المحركات الكهربائية التي تعمل بالتيار المتناوب بأعضاء دوارة ذات لفائف. وتنتهي لفات الأسلاك عند قطاعات عضو التبديل؛ حيث توجد فرش ثابتة لعمل التوصيل

الكهربائي مع أطراف لفات الأسلاك الموصلة لمجموعة أعضاء تبديل خاصة. وتسمى الأعضاء الدوارة التي تحتوي على مثل هذه الملفات، وأعضاء التبديل باسم أعضاء الإنتاج الكهربائي. وأخيراً، يمكن تصنيف المحركات كمحركات حثية أو متزامنة. تدور المحركات المتزامنة على سرعة يتم التحكم بها بواسطة تردد الجهد الكهربائي وعدد الأقطاب، ولكن لاتتأثر السرعة بتحميل المحرك. وعلى العكس من ذلك يسبب تحميل المحركات الحثية انزلاقًا، يتسبب في دوران العضو الدوار بسرعة أقل من السرعة المتزامنة. ويهتم معظم بقية هذا الفصل بالمحركات الحثية التي تعمل بالتيار المتناوب ذات عضو دوار ذي القفص السنجابي؛ حيث إن هذه المحركات هي الأوسع انتشاراً. تدور المحركات الصغيرة لهذا التصميم بقدرة أحادية الطور، بينما تستخدم القدرة ثلاثية الطور في المحركات الأكبر. وسوف نناقش أيضًا محركات التيار المستمر. وسوف يتم وصف الأنواع الأخرى من المحركات الكهربائية باختصار.



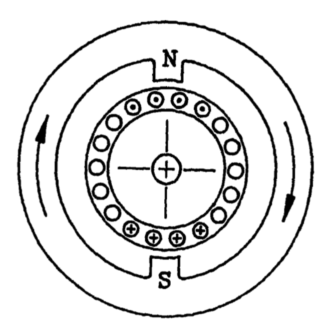
شكل ٢,١٢. محرك كهربائي بعضو دوار ذي لفائف.

٢,٢,٣ مبادىء تشغيل المحركات الحثية

المحرك المبين في الشكل رقم (٢,١٣) ليس محركًا عمليًا، ولكنه يشرح

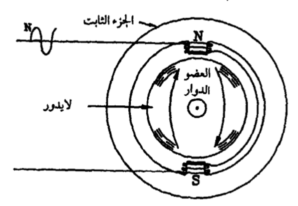
مبادىء تشغيل المحركات الحثية. فالعضو الدوار ذو قفص السنجاب المشابه لذلك الموضح في الشكل رقم (١١, ٢) هو عضو مُحاط بمغناطيس دائم ذي قطبين (أحدهما قطب شمالي والأخر جنوبي). ويصنع العضو الدوارفي هذه الحالة من الألومنيوم، مادة توصل التيارالكهربائي ولاتنجذب نحو المغناطيس. تخيل أن العضو الدوار يكون ثابتًا في البداية، ولكن المغناطيس الدائم صنع ليدور باتجاه دوران عقارب الساعة، كما تشير إليه الأسهم. ولهذا يكون العضو الدوار قد وضع في مجال مغناطيسي دوراني، بسبب الحركة النسبية بين العضو الدوار والمجال الدوراني، تقطع قضبان الألومنيوم الموجودة في العضو الدوار الخطوط المغناطيسية الممثلة لسريان القوة من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي؛ وبذلك تُحث التيارات الكهربائية في القضبان. تسري التيارات باتجاه القارىء في الموصلات القريبة من القطب الشمالي (كما هو موضح بالنقاط) وبالاتجاه المعاكس للقارىء في الموصلات القريبة من القطب الجنوبي (كما هو موضح بالإشارات الموجبة). وبدورها تقوم تلك التيارات الحثية بتوليد مجالات مغناطيسية حول كل موصل، ويكون اتجاه تلك المجالات الدائرية المغناطيسية بعكس اتجاه دوران عقارب الساعة حول الموصلات القريبة من القطب الشمالي. و تضاف المجالات المعاكسة لاتجاه دوران عقارب الساعة إلى مجال التدفق الدوراني على الجانب الأيسر لكل موصل وتطرح على الجانب الأيمن. ونتيجة لذلك، تحاول القضبان التحرك نحو اليمين في مجال التدفق الضعيف. فقرب القطب الجنوبي، يوضح منطق مشابه أن القضبان تحاول التحرك نحو اليسار في مجال التدفق الضعيف. والنتيجة النهائية هي دوران العضو الدوار باتجاه دوران عقارب الساعة، ويعني ذلك، بالطريقة نفسها أن مجال التدفق المغناطيسي يدور. وبوجه عام، لايستطيع العضو الدوار الدوران بسرعة دوران المجال المغناطيسي الدوراني نفسها، وإلا سوف لايكون هناك حركة نتيجة لحث تيارات في قضبان القفص السنجاني.

يشابه المحرك في الشكل رقم (١٤, ٢) ذلك الموضح في الشكل رقم (١٣, ٢)، فيما عدا الإطار الخارجي الذي يبقى ثابتًا ويصبح هو الجزء الثابت (المخدات) وتستبدل المغانيط الدائمة بمغانيط كهربائية موصلة على التوالي. توصيل



شكل١٣ ,٢. رسم توضيحي لمبدأ تشغيل المحرك الحثي.

المغانيط الكهربائية لمصدر تيار متناوب. ولهذا، عندما يكون التيار المتناوب في موجة جيبية كاملة، يبدأ المغناطيس الكهربائي العلوي من انعدام المغناطيسية في البناء حتى يصبح قطبًا شماليًا قويًا، ثم يتضاءل إلى الصفر، ثم ينشأ قطب جنوبي قوي، ثم يتضاءل إلى الصفر مرة ثانية ثم تُعاد الدورة.



شكل ١٤ ,٢. رسم توضيحي لمحرك حثي يدور بدون وسائل بدء حركة.

(عن: Surbrook and Mullin, 1985)

ويسبب ترتيب الملفات، يمر المغناطيس السفلي بنمط مماثل فيما عدا قطبيته المغناطيسية، تكون معاكسة لتلك التي في المغناطيس العلوي. لاحظ أنه على طول خط رأسي مار بمركز العضو الدوار ذي القفص السنجابي، يكون التغير في المجال المغناطيسي هو نفسه الذي يحدث عند دوارن المغناطيس الدائم في الشكل رقم (٢,١٣)، يعني ذلك وصول التدفق المغناطيسي إلى مداه في الاتجاه لأسفل، يتضاءل إلى الصفر، ويصل إلى مداه في الاتجاه لأعلى، ثم يتضاءل إلى الصفر، ... إلخ. لهذا يمكن النظر إلى المحرك في الشكل رقم (٢,١٤) بأن له مجالاً دورانيًا. يمكن حساب السرعة المتزامنة، السرعة التي يبدو عندها أن المجال يدور، باستخدام المعادلة التالية:

$$n_s = \frac{120\,f}{\lambda_p} \quad (٢,٢٩)$$

حيث:

n_s = السرعة المتزامنة، لفة/د

f = تردد الخط، (Hz)

λ_p = عدد الأقطاب.

في الولايات المتحدة الأمريكية، التذبذب القياسي للخط هو ٦٠ هرتز. في المحرك ذي القطبين المبين في الشكل رقم (٢,١٣)، تكون السرعة المتزامنة ٣٦٠٠ لفة/ د. ولا يستطيع العضو الدوار الدوران بسرعة مثل السرعة المتزامنة في محرك حثي، و يعني ذلك، أن هناك بعض الانزلاق، يعرف كالتالي:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (٢,٣٠)$$

حيث:

s = الانزلاق، كسر عشري

n_r = سرعة العضو الدوار (سرعة العمود)، لفة/ د.

بدمج المعادلتين رقمي (٢٩ , ٢) و (٣٠ , ٢) نحصل على المعادلة التالية لسرعة العضو الدوار:

$$n_r = \frac{120\, f\, (1 - s)}{\lambda_p} \qquad (٢ , ٣١)$$

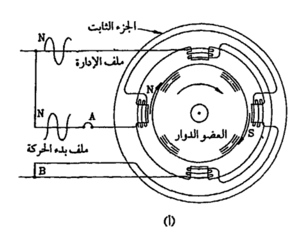
عند بدء الحركة، الانزلاق (S) يساوي ١ وينحسر إلى قيمة صغيرة عندما يبلغ المحرك سرعته الكاملة. على سبيل المثال، إذا أدير المحرك ذو القطبين المبين في الشكل رقم (١٤ , ٢) بتيار متناوب ذبذبته ٦٠ هرتز وكان الانزلاق ١٧ , ٤٪، سوف تكون سرعة العضو الدوار ٣٤٥٠ لفة/ د. لاحظ أنه إذا وضع القطب السفلي في الشكل رقم (١٤ , ٢) بزاوية ٩٠° من القطب العلوي بدلاً من ١٨٠°، سوف يدور المجال المغناطيسي بنصف دورة فقط لكل دورة للجهد. ويمكن إضافة مجموعة أخرى من الأقطاب للسماح للمجال المغناطيسي بإكمال دورته الكاملة في دورتين للجهد. مضاعفة عدد أقطاب العضو الثابت (المخدات) لأربعة أقطاب سوف يقلل من السرعة المتزامنة إلى ١٨٠٠ لفة/ د، وإذا كان الانزلاق ١٧ , ٤٪، سوف تكون سرعة العضو الدوار ١٧٢٥ لفة/ د.

المحرك المبين في الشكل رقم (١٤ , ٢) ليس له احتياطات لبدء حركة العضو الدوار. طالما بدأ العضو الدوار بالحركة، فسوف يستمر بالدوران بالاتجاه الأولي بسبب المجال المغناطيسي المتناوب. وكما سيتم شرحه في الجزء التالي، هناك أنواع مختلفه من المحركات الحثية أحادية الطور، يختلف كل منها حسب طريقة استخدامه لبدء حركة العضو الدوار.

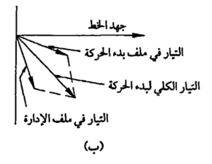
٢ , ٢ , ٤ أنواع المحركات الحثية أحادية الطور

المحركات الحثية مُجزأة الطور. يسمى المحرك الموضح في الشكل رقم (١٥ , ٢أ) محركًا حثيًا مجزأ الطور. وقد أضيفت مجموعة من ملفات بدء الحركة على أقطاب يتم تدويرها بزاوية مقدارها (٩٠°) من الملفات الدوارة. وبمقارنتها مع الملفات الدوارة، نجد أن عدد لفات ملفات بدء الحركة أقل، وأسلاكها ذات مقاومة

أعلى.



(أ)



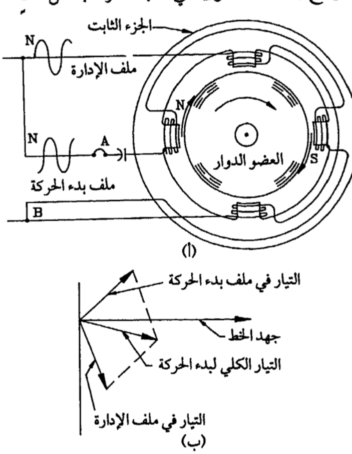
(ب)

شكل ٢,١٥. رسم توضيحي لمحرك حثي مجزأ الطور.

(عن: Surbrook and Mullin, 1985)

وبسبب المقاومة المنخفضة، والحث العالي لملفات بدء الحركة، يزاح التيار الموجود في ملفات بدء الحركة إلى طور من الملفات الدوارة، انظر الشكل رقم (١٥ , ٢ب). ونتيجة لذلك، يتأسس مجال مغناطيسي، يدور باتجاه دوران عقارب الساعة، مسبباً بدء حركة العضو الدوار باتجاه دوران عقارب الساعة. ويفتح مفتاح يعمل بالطرد المركزي، وموصل على التوالي مع ملفات بدء الحركة عندما يصل المحرك إلى سرعة كافية، وحينئذ يستمر المحرك بالدوران كمحرك حثي عادي. إذا وضعت أسلاك التوصيل خارج الغلاف الطرفي، يمكن عكس اتجاه الدوران بعكس أسلاك التوصيل (A) و (B) لدائرة ملفات بدء الحركة. يتوفر المحرك المجزأ الطور عادة بأحجام تتراوح

من ٠,٠٤ إلى ٠,٢٥ كيلوواط ($\frac{١}{٢٠}$ إلى $\frac{١}{٣}$ حصان). بالمقارنة مع المحركات الحثية الأخرى أحادية الطور، نجد أنها ذات تيار أعلى وعزم أقل عند بدء الحركة. وبذلك فهي مناسبة للمراوح والآلات الأخرى التي لا تبدأ الحركة بحمل عال.

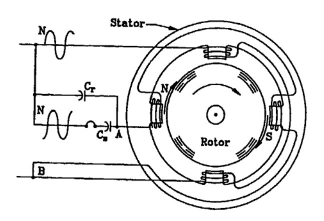


شكل ١٦,٢. رسم توضيحي لمحرك حثي موصل بمكثف لبدء حركة.

(عن: Surbrook and Mullin, 1985)

المحركات الحثية الموصلة بمكثف بدء الحركة. يوضح الشكل رقم (١٦,٢أ) محركًا حثيًا موصلاً بمكثف بدء الحركة. وتم توصيل مكثف إلكتروليتي على التوالي مع ملفات بدء الحركة؛ لتغيير طور تيار البداية كما هو موضح في الشكل رقم (١٦,٢ب). المكثف الإلكتروليتي غير مصمم لأداء مهمته باستمرار، لهذا حينما يصل المحرك إلى مايتراوح بين ٧٥ و٨٠٪ من سرعته المتزامنة يفتح مفتاح يعمل

بالطرد المركزي ويفصل دائرة ملفات بدء الحركة. مقارنة الشكلين رقمي (١٥ , ٢ب) و (١٦ , ٢ب) تبين أن تيار البداية للمحرك الموصل بمكثف بدء الحركة أقل كثيراً منه للمحرك مجزأ الطور، وعادة يتراوح تيار البداية للمحرك الموصل بمكثف بدء الحركة من ثلاثة إلى أربعة أضعاف ذلك المطلوب للدوران. وعادة تكون استطاعة عزم البداية للمحرك الموصل بمكثف بدء الحركة نحو الضعف مقارنة بالمحرك مجزأ الطور. ويتوفر المحرك الحثي الموصل بمكثف بدء الحركة بأحجام تتراوح من ١٣ , ٠ إلى ٣ , ٢ كيلوواط ($\frac{1}{6}$ إلى ٣ حصان) ويعد أكثر المحركات استخدامًا في الآلات الزراعية. كما أنه في المحرك مجزأ الطور يمكن عكس اتجاه الدوران وذلك بعكس أسلاك التوصيل (A) و(B) في دائرة ملف بدء الحركة.

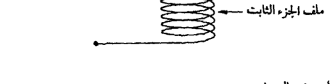


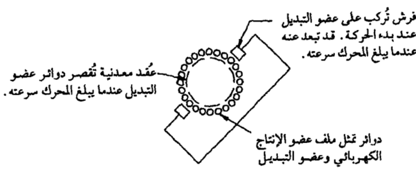
شكل ١٧ , ٢. رسم توضيحي لمحرك حثي موصل بمكثف ذي قيمتين.

(عن: Surbrook and Mullin, 1985)

المحركات الحثية الموصلة بمكثف ذي قيمتين. يوضح الشكل رقم (١٧ , ٢) رسمًا تخطيطيًا لمحرك حثي موصل بمكثف ذي قيمتين، يسمى أيضًا محرك موصل بمكثف بدء الحركة والتشغيل. الملف الإضافي المستخدم لبدء الحركة يستخدم أيضًا للإدارة. ويوصل مكثفًا مملوءاً بالزيت (C_r) على التوالي مع الملف الإضافي وهو قادر على التشغيل المستمر. ويوصل مكثف إلكتروليتي (C_s) على التوازي مع المكثف المملوء بالزيت عند بدء الحركة، ولكن يفصل بمفتاح يعمل بالطرد المركزي عندما يصل المحرك إلى سرعته. ويتوفر المحرك الحثي الموصل بمكثف ذي قيمتين عادة بأحجام

تصل إلى ٧,٥ كيلوواط (١٠ حصان) وهي تعطي عزم بداية عاليًا. مرة ثانية، يمكن عكس اتجاه الدوران وذلك بعكس أسلاك التوصيل (A) و(B)، الخاصة بدائرة الملف الإضافي.





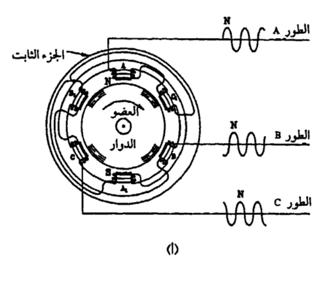
شكل ٢,١٨. رسم توضيحي لمحرك حثي ذي بدء حركة بالتنافر.

المحركات الحثية ذات الحركة بالتنافر. يوضح الشكل رقم (٢,١٨) رسمًا تخطيطيًا لمحرك حثي ذي بدء حركة بالتنافر. وهو لايشبه المحركات الحثية السابقة، لاتستخدم محركات بدء الحركة بالتنافر ملفات إضافية لبدء الحركة على الجزء الثابت (المخدات). وتستخدم بدلاً من ذلك عضواً دواراً ذا لفائف. ولا يشبه العضو الدوار ذا القفص السنجابي، الذي تكون فيه كل قضبان التوصيل موصلة (مقصورة) ببعضها بواسطة أقراص طرفية على شكل وردة، توصل موصلات العضو الدوار ذي اللفائف مع قطاعات عضو التبديل، يعني ذلك أن العضو الدوار يكون عضو إنتاج كهربائيًا. وتوصل (تقصر) الفرشتان المركبتان على جانبين متعاكسين لعضو التبديل، كما هو موضح في الشكل رقم (٢,١٨). وبهذا، فإنه في أية لحظة توصل مجموعة واحدة من الملفات الموجودة على عضو الإنتاج الكهربائي مع ملف يتم إمالة محوره بالنسبة لمحور ملف الجزء الثابت (المخدات). يحث المجال المغناطيسي للجزء الثابت (المخدات) تيارًا في الملف على عضو الإنتاج الكهربائي،

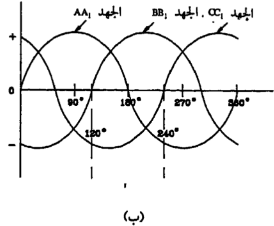
والذي بدوره يولد عند الدوران تدفقًا مغناطيسيًا من ملف عضو الإنتاج الكهربائي. يعمل تنافر كهرومغناطيسية كل من الجزء الثابت (المخدات) وعضو الإنتاج الكهربائي على دوران عضو الإنتاج الكهربائي. بعد أن يصل المحرك إلى سرعته، يُقصِّر جهاز يعمل بالطرد المركزي جميع قطاعات عضو التبديل مع بعضها بعضًا، ويدور المحرك بطريقة مشابهة للمحرك الحثي ذي القفص السنجابي. ويمكن تغيير اتجاه الدوران بتغيير زاوية الفرشتين بالنسبة لمحور ملف الجزء الثابت (المخدات). المحرك الحثي ذو بدء الحركة بالتنافر يعطي عزم بداية عاليًا جدًا مع تيار بدء منخفض نسبيًا، ويتوفر بأحجام تتراوح من ٣٧,٠ إلى ٥,٧ كيلوواط ($\frac{1}{2}$ إلى ١٠ حصان). وبوجه عام، فإنه بسبب التكلفة العالية لصنع عضو الإنتاج الكهربائي، يكون المحرك الحثي ذو بدء الحركة بالتنافر أقل استخدامًا من كل من المحركات الموصلة بمكثف بدء الحركة والمحركات الموصلة بالمكثف ذي القيمتين.

٥,٢,٢ المحركات الحثية ثلاثية الطور

أصبحت المحركات أحادية الطور غير عملية للأحجام التي تزيد على ٥,٧ كيلوواط (١٠ حصان)، ولمتطلبات قدرة أكبر، أصبحت المحركات ثلاثية الطور هي الخيار العملي. تتوفر المحركات الحثية ثلاثية الطور بأحجام تصل إلى ١٥٠ كيلوواط (٢٠٠ حصان). يوضح الشكل رقم (١٩,٢أ) محركًا حثيًا ثلاثي الطور. العضو الدوار يكون له تصميم القفص السنجابي نفسه الموضح في الشكل رقم (١١,٢). يزود المحرك بالجهد، الشكل رقم (١٩,٢ب) من خلال ثلاثة موصلات كهربائية لخط ثلاثي الطور. شكل موجة الجهد (BB_1) تتأخر عن (AA_1) بمقدار ثلث طول الموجة أو ١٢٠° أو ٠,٠٠٥٦ ثانية لجهد ذبذبته ٦٠ هرتز، يتأخر الجهد (CC_1) عن(AA_1) بمقدار ٢٤٠° أو ٠,٠١١١ ثانية. وعندما يذهب شكل الموجة (AA_1) خلال تغيرها الجيبي، ينشأ مغناطيس كهربائي (A) مبين في الشكل رقم (١٩,٢أ) من صفر إلى قطب شمالي قوي، ثم يتضاءل إلى الصفر، ينشأ إلى قطب جنوبي قوي، يتضاءل إلى الصفر وهلم جرًا. وتتبع المغانط الكهربائية (B) و(C) نمطًا مشابهًا فيما عدا تأخر طورها المتوالي. ولهذا، يبدو القطب الشمالي للمجال



(أ)



(ب)

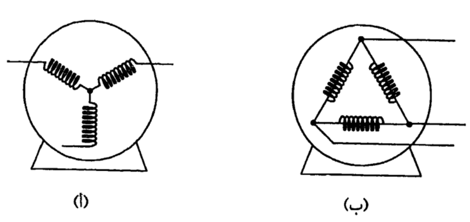
شكل ٢,١٩. رسم توضيحي لمحرك حثي ثلاثي الطور.

(عن: Surbrook and Mullin, 1985)

المغناطيسي عبر العضو الدوار كأنه يدور من المغناطيس الكهربائي (A) إلى (B) إلى (C) إلى (A) وهكذا، ويعني ذلك أن المجال يبدو أنه يدور باتجاه دوران عقارب الساعة. ولهذا، كما نوقش في الجزء رقم (٢,٣,٣)، يدور العضو الدوار أيضًا باتجاه دوران عقارب الساعة. ويمكن حساب السرعة المتزامنة، الانزلاق وسرعة العضو الدوار باستخدام المعادلات أرقام (٢,٢٩)، (٢,٣٠) و(٢,٣١) على التوالي. ولهذا،

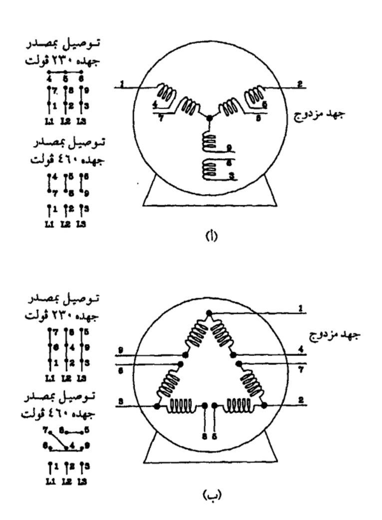
فإن تياراً ذبذبته ٦٠ هرتز، سوف تكون السرعة المتزامنة ٣٦٠٠ لفة/ د للمحرك ذي القطبين الموضح في الشكل رقم (٢,١٩أ). وإذا كان الانزلاق عند الحمل الكامل ٤,١٧٪، سوف يدور العضو الدوار عند ٣٤٥٠ لفة/ د عند الحمل الكامل.
ويستخدم المحرك ذو الأربعة أقطاب ضعف عدد الملفات لإيجاد مجموعتين آنيتين من الأقطاب الشمالية والجنوبية. وكما وصف في الجزء رقم (٢,٣,٣)، يدور المجال المغناطيسي نصف المسافة حول الجزء الثابت (المخدات) في كل دورة للجهد وتصبح السرعة المتزامنة ١٨٠٠ لفة/ د.

يمكن عكس اتجاه دوران المحرك الحثي ثلاثي الأطوار، بعكس أي سلكين من أسلاك التوصيل الثلاثة للمحرك. ومن ثمّ يتبين بعد التأمل أن عكس أي سلكين، سوف يؤدي إلى عكس اتجاه دوران المجال المغناطيسي وبذلك يعكس اتجاه دوران العضو الدوار.



شكل ٢,٢٠. محرك حثي ثلاثي الأطوار ذو (أ) وصلة ذات شعبتين (wye) و(ب) وصلة مثلثية (delta). (عن: Surbrook and Mullin, 1985)

يمكن الحصول على كهرباء ثلاثية الطور من شبكة القدرة الكهربائية سواء بالوصلة ذات الشعبتين (wye) أو بالوصلة المثلثية (delta) وتتوفر المحركات لأي من نوعي القدرة. يوضح الشكل رقم (٢,٢٠أ) محركًا من نوع الوصلة ذات الشعبتين (wye) بينما يوضح الشكل رقم (٢,٢٠ب) محركًا من نوع الوصلة المثلثية (delta).



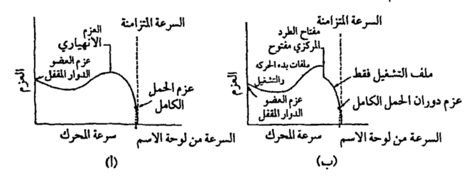
شكل ٢,٢١. محرك ثلاثي الأطوار بتوصيلات لجهد مزدوج.

(عن: Surbrook and Mullin, 1985)

٢,٢,٦ المحركات مزدوّجة الجهد

تصمم محركات كثيرة لتُشغل عند أي من جهدين مختلفين. على سبيل المثال، يمكن توصيل المحركات ثلاثية الطور المبينة في الشكل رقم (٢,٢١) لتعمل على قدرة كهربائية مقدارها ٢٣٠ ڤولت أو ٤٦٠ ڤولت. لاحظ وجود ملفين منفصلين ملفوفين على كل مغناطيس كهربائي وأن كل أسلاك التوصيل موجودة

بالخـارج عند الموصل الطرفي للمـحـرك. توضح مـخططات التـرقـيم الموجـودة على جانب كل محرك كيفية توصيل الملفات. يمكن استخدام الجهد الأقل عندما يتم توصـيل الملفين على كل مـغناطيس كـهـربائي على التـوازي، وتوصل الملفـات على التوالي للسماح باستخدام الجهد الأعلى. يصمم الكثير من المحركات أحادية الطور بطريقـة مشابهـة للتشغيل بالجهـد المزدوج. ولقـدرة خارجـة معينة، سـوف يكون استـهلاك المحرك للتيار بمقدار النصف فقط عند استـخدام الجـهد الأعلى، ولـهذا، يجب استخدام الجهد الأعلى طالما كان متوفراً.



شكل ٢,٢٢. خصائص علاقة السرعة بالعزم لمحرك حثي.

(عن: Surbrook and Mullin, 1985)

٢,٢,٧ خصائص العزم-السرعة للمحركات الحثية

يجب أن يكون العزم المنتج بالمحرك كافيًا لتقويم الآلة الموصلة، وإبقائها تعمل تحت التحميل العادي. يوضح الشكل رقم (٢٢, ٢) التغيرات في العزم عند تشغيل المحركـات ثلاثيـة الطور وأحـادية الطور من السكون. يعرف العـزم المقـفل للعـضو الدوار المبين في الشكل رقم (٢٢, ٢أ) على أنه العزم عند سرعـة الصفـر، ويجب أن يكون كبيراً بدرجة كافية لبدء حركة الآلة. بعد بدء الحركة، سوف يتوقف المحرك فجأة إذا زاد الحمل على عزم الدوران الانهياري. ولا يشير مصنعو المحركات إلى عزم الدوران الانهـياري على لوحة الاسم، ولكنهـم يستـخدمونهـا في تحديد سـعة قـدرة المحـرك. لاحظ أن العضو الدوار لا يستطيع الوصـول إلى السـرعة المتـزامنة في أثناء إنتاج العزم، ويعني ذلك وجود بعض الانزلاق. ولـهذا، ينتج عزم الحمل الكامل عند السرعة المقـررة وهي أقل قليلاً من السرعـة المتزامنة. سوف تنخفض سرعـة المحرك

عن السرعة المقررة عند زيادة الحمل على عزم الحمل الكامل، ولكن سوف يستعيد المحرك سرعته عند تقليل الحمل. وبسبب شدة ميل المنحنى قرب نقط التحديد، فإن زيادات معتدلة في عزم الحمل؛ سوف تسبب انخفاضات صغيرة في السرعة. ولهذا، تزداد القدرة الخارجة بزيادة الحمل حتى تبدأ السرعةفي الانخفاض الشديد قرب نقطة عزم الدوران الانهياري. ولمنع التسخين الزائد وتلف المحرك، يجب عدم تحميله أبداً بحمل ثقيل، يعمل على تقريب نقطة التشغيل من نقطة الانهيار.

تدمج خصائص العزم للمحركات أحادية الطور منحنيين منفصلين، الشكل رقم (٢٢,٢ب). بيدء الحركة من السكون، ينتج العزم الخارج من المحرك بالتأثيرات المشتركة لملفي البدء والتشغيل. وبعد فتح مفتاح الطرد المركزي وفصل ملف البدء، يبقى فقط ملف التشغيل لينتج العزم. فيما عدا ذلك فإن المصطلحات ووصف خصائص العزم للمحركات أحادية الطور وثلاثية الطور تكون متشابهة.

٢,٢,٨ معلومات لوحة الاسم للمحرك

تسمح المواصفات القياسية للتصميم وتحديد القدرة المطوّرة بواسطة الجمعية الوطنية لمصنعي المواد الكهربائية (NEMA) بمقارنة المحركات المنتجة من مختلف المصنعين. قد تشمل المعلومات المبينة على لوحة الاسم بعض أو كل مايلي: الڤولت، جهد التشغيل المناسب، سواء أكانت قيمة واحدة أم قيمتين لمحركات الجهد المزدوج. أمبير (Amps) هو التيار المسحوب عند الحمل الكامل بالأمبيرات عند التزويد بالجهد المناسب. وعند وضع رقم مزدوج، سوف يسحب المحرك الأمبير الأصغر عند توصيله بمصدر الجهد الأعلى. لفة/ د هي سرعة دوران العضو الدوار عندما يدور المحرك عند نقطة الحمل الكامل على المنحنى الممثل للعلاقة بين العزم والسرعة، الشكل رقم (٢٢,٢). هرتز (Hz) هي ذبذبة تشغيل مصدر الكهرباء المستخدمة في التصميم. في الولايات المتحدة الأمريكية، تكون ذبذبة التشغيل ٦٠ دورة / ث. تستخدم ذبذبة قياسية مقدارها ٥٠ دورة/ ث في بعض الدول. (FR) هي أحد الأرقام القياسية للإطار المستخدمة من قبل المصنعين للتأكد من إمكانية المبادلة. الأرقام الشائعة للإطار هي ٤٢، ٤٨ و ٥٦ للمحركات ذات القدرة الأقل من

٠,٧٥ كيلوواط (١ حصان) . بقسمة رقم الإطار على ٦,٣ (١٦) فإنه يعطي الارتفاع بالسنتيمتر (البوصة) من أسفل قاعدة التثبيت إلى خط مركز العمود . يمكن إضافة بعض الحروف لتحديد نوع قاعدة التثبيت ، على سبيل المثال ، الإطار (T) أو الإطار الأثقل (U) . استبدال المحرك بآخر له نفس رقم الإطار سوف يسمح بتركيبه على نفس قاعدة التثبيت . (Duty) تدل فيما إذا كان المحرك مصنفًا على أنه مستمر أو متقطع ، قد تستخدم الساعات للدلالة على طول الوقت الذي يمكن فيه تشغيل المحرك بأمان خلال التشغيل المتقطع . ارتفاع درجة الحرارة (°م) قد ينص على درجة الحرارة المسموح بها فوق درجة حرارة محيطة مقدارها ٤٠ °م (١٠٤ °ف) عند تشغيل المحرك على الحمل الكامل . وغالبًا ما يمكن تشغيل المحرك بحمل زائد تتراوح نسبته من ١٠ إلى ١٥٪ دون تلف ، ولكن يجب ألاتزيد درجة حرارة المحرك أبدًا عن ٥٥ °م (١٣١ °ف) . وفي أثناء التشغيل ، إذا لم يكن المحرك شديد السخونة بحيث يمكن لمسه ، فلا يعد تسخينه زائدًا . وكبديل عن ارتفاع درجة الحرارة ، يمكن أن يُنَص على درجة الحرارة المحيطة المسموح بها . عندئذ يمكن تشغيل المحرك عند الحمل الكامل بأجواء ذات درجات حرارة أقل من درجة الحرارة المحيطة المنصوص عليها . يُضرب معامل الخدمة (SF) بالقدرة المقررة للحصول على التحميل المسموح به . على سبيل المثال ، معامل خدمة مقداره ١,١٠ يعني أنه يمكن تشغيل محرك بحمل زائد مقداره ١٠٪ دون حدوث تسخين زائد . يمكن أن تكون معاملات الخدمة للمحركات المستخدمة في المزرعة ١,٣٥ أو أكثر . طبقة العزل هي تحديد لمقاومة درجة الحرارة للمادة العازلة المستخدمه للأسلاك داخل المحرك . الأصناف النمطية هي (A) ، (B) ، (F) ، أو (H) ، حيث الصنف (A) أقل درجة حرارة مقررة . تستخدم المادة العازلة بصنف (A) أو (B) في معظم المحركات المزرعية . يستخدم الحرف الرمزي لإيجاد أقصى مدى للدائرة الفرعية لحماية المحرك . وتعتمد على التيار المستهلك بالمحرك عندما يكون العضو الدوار مقفلاً . يمكن استخدام المعادلة التالية لحساب تيار البدء للعضو الدوار المقفل من الحرف الرمزي :

$$\text{Amps} = \frac{1000\ \text{kVA} * \text{hp}}{\text{volts} * C_{ph}} \quad (٢,٣٢)$$

حيث:

Amps = تيار البدء بالأمبير (A)

kVA = التقدير من هيئة الترميز الكهربائية

hp = القدرة المقررة من لوحة الاسم، حصان

volts = مصدر الجهد، ڤولت

C_{ph} = ثابت = ١,٠ لمحرك أحادي الطور، ١,٧٣ لمحرك ثلاثي الطور.

مثال رقم (٥,٢)

محرك ثلاثي الطور قدرته ٥٠ حصانًا يعمل بفرق جهد مزدوج إما ٢٣٠ أو ٤٦٠ ڤولت، له حرف رمزي (G) على لوحة الاسم. اوجد تيارات البدء عند استخدام المحرك عند ٢٣٠ ڤولت وعند ٤٦٠ ڤولت.

الحل. يبين الجدول رقم (٤٣٠-٧ب) لهيئة الترميز الكهربائية أن كيلوڤولت-أمبير/ حصان للحرف الرمزي (G) يتراوح من ٥,٦ إلى ٦,٢٩. ولهذا، من المعادلة رقم (٢,٣٢)، فسوف يكون أدنى تيار لبدء العضو الدورار المقفول عند التشغيل على ٢٣٠ ڤولت هو:

$$\text{Amps} = \frac{1000 * 5.6 * 50}{230 * 1.73} = 704 \text{ A}$$

وباستخدام نفس المعادلة عند الحد الأعلى للمدى سوف يكون أقصى تيار بدء للعضو الدوار المقفل ٧٩٠ أمبير. وتعد تيارات البدء تلك عالية جداً. ويمكن تقليل تيارات البدء إلى المدى ٣٥٢-٣٩٥ أمبير باستخدام المحرك على مصدر جهده ٤٦٠ ڤولت.

قد يعطى حرف التصميم على لوحة الاسم كدلالة على تيارات البدء حتى التيارات المقررة، وكذلك للدلالة على عزم البدء حتى العزم المقرر. الطبقات الخمس للمحركات ذات القفص السنجابي هي (A)، (B)، (C)، (D)، (F)، مع كون (A)، (B) هما الأكثر شيوعًا. التصميم (A) له تيار بدء يتراوح من ٦ إلى ٧ أضعاف التيار المقرر

وعزم بدء مقداره ١٥٠٪ من العزم المقرر. التصميم (B) له تيار بدء يتراوح من ٥,٥ إلى ٦ أمثال التيار المقرر وعزم بدء مقداره ١٥٠٪ من العزم المقرر. بيان الحماية الحرارية على لوحة الاسم يدل على أن المحرك مجهزٌ بمثل هذه الحماية لمنع التسخين الزائد للملفات. وقد توفر الحماية باستشعار تيار المحرك أو درجة حرارة الملفات ويوقف المحرك عندما يزيد مقدار أحدهما على اللازم. وبعد إيقاف المحرك، يجب إعادة ضبطه يدويًا إلا إذا كان مجهزًا بوسيلة لإعادة ضبطه تلقائيًا.

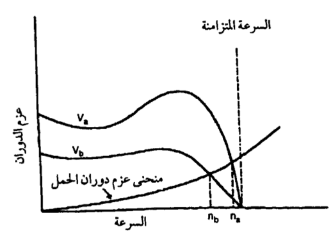
٢,٢,٩ بادئات الحركة بالمحركات

يمكن أن يكون تيار البدء للمحركات ذات القفص السنجابي عاليًا حتى سبعة أضعاف تيار التشغيل، وكما يدل عليه المثال رقم (٢,٥)، يمكن أن يكون تيار البدء للمحركات الكهربائية الكبيرة عالياً جداً. ويمكن أن يسبب تيار البدء العالي انخفاضًا شديدًا في الجهد في خطوط إمداد القدرة الكهربائية، يؤدي ذلك إلى حدوث تداخل بين المستهلكين الجيران. توجد وسائل لتقليل تيار البدء الزائد. يمكن في بعض الأحيان بدء تحريك المحرك بدون حمل ثم يطبق حمل العزم بعد دوران المحرك. ويمكن أيضًا استخدام المحولات التلقائية للتقليل لحظيًا من إمداد الجهد عند البدء، ويؤدي ذلك إلى تقليل تيار البدء، كما يتوفر أنواع أخرى من بادئات الحركة لتقليل تيار البدء. وحينما لايكون تيار البدء زائدًا، يمكن استخدام بادىء بسيط عبر خط الإمداد. وعادة، تستخدم البادئات عبر خط الإمداد لمحركات تصل قدرتها إلى ٢٢ كيلوواط (٣٠ حصان).

٢,٢,١٠ أغلفة المحرك

تتعرض المحركات المستخدمة في التطبيقات الزراعية غالبًا إلى بيئة قاسية. ويشمل ذلك الغبار والرطوبة العالية والأبخره القابلة للاحتراق و الحشرات القارضة. لهذا يعد تصميم أغلفة المحركات أمرًا هامًا. تشمل الأغلفة المتاحة: مفتوحة، ضد التقطير وضد الرش والمغلقة تماماً وضد الانفجار. تعد الأغلفة المفتوحة أقل تكلفة ولكنها الأقل حماية. تصمم فتحات التهوية للمحركات المغلقة

ضد التقطير لتمنع دخول المطر ولكن لاتمنع دخول الغبار. فتحات التهوية للمحركات المغلقة ضد الرش تكون أكثر عزلاً لتقليل إمكان رش السوائل داخل المحرك. تمنع المحركات المغلقة تمامًا دخول الغبار، يتم تدوير هواء التبريد داخل المحرك، ولكن يمكن أن تشع الحرارة فقط بالتوصيل خلال الغلاف. يمكن وضع مروحة خارجية على عمود المحرك؛ لنفخ الهواء على السطح الخارجي للغلاف للتبريد. المحركات ذات الأغلفة المضادة للانفجار مغلقة تمامًا، ومصممة لمنع دخول الأبخرة القابلة للاحتراق إلى داخل المحرك، وهي تستخدم في مضخات توزيع الوقود وتطبيقات أخرى يمكن أن يوجد بها أبخره قابلة للاحتراق.



شكل ٢,٢٣. رسم توضيحي لوسائل تغيير سرعة المحرك الحثي.

(عن : Surbrook and Mullin, 1985)

٢,٢,١١ المحركات الكهربائية متغيرة السرعة

على الرغم من أن المحركات الحثية للتيار المتناوب مصممة للدوران عند سرعة ثابتة، إلا أن المحركات الموصلة بمكثف مجزأ بشكل دائم تستطيع تغيير السرعة بعض الشيء، كما هو موضح في الشكل رقم (٢٣ , ٢). منحنى العزم-السرعة للحمل موضح بإضافته على منحنيات العزم-السرعة للمحرك عند إمدادهما بجهدين مختلفين. بالتقليل من الجهد الذي يتم إمداده من (V_A) إلى (V_B)، تقل سرعة التشغيل من(n_A) إلى (n_B). لاحظ أن العزم المتاح من المحرك يقل بتقليل سرعته

ولهذا، كما هو موضح في المعادلة رقم (١٣ , ٢)، تنخفض القدرة الخارجة بشكل سريع عندما تقل قيمة الجهد الذي يتم إمداده. ولهذا، سوف يعمل الأسلوب التقني فقط، إذا انخفض الطلب على القدرة من الآلة التي يتم إدارتها بشكل سريع عند تقليل السرعة. تمثل المروحة مثل هذا الحمل، ولهذا يستخدم أحيانًا الأسلوب التقني المبين في الشكل رقم (٢٣ , ٢) لإعطاء مراوح ذات سرعات متغيرة.

كما تدل المعادلة رقم (٣١ , ٢)، تتناسب سرعة المحرك الحثي مع ذبذبة القدرة الكهربائية التي يتم إمدادها. وبناءً على المعادلة رقم (٣١ , ٢)، قد يستخدم جهاز تحكم خاص للتحكم في سرعة المحركات الحثية ثلاثية الطور. يقوم جهاز التحكم بتقويم جهد التيار المتناوب إلى تيار مستمر ثم يحوله مرة أخرى إلى تيار متناوب عند ذبذبة يمكن التحكم بها. عند تقليل الذبذبة، يقل الجهد أيضًا لمنع التسخين الزائد للمحرك. وعمومًا يحافظ جهاز التحكم على ثبات العزم الخارج من المحرك. ولهذا، وكما هو موضح في المعادلة رقم (٣١ , ٢)، تتغير القدرة الخارجة بالتناسب مع سرعة المحرك. باستخدام جهاز التحكم، يمكن عادةً التحكم في سرعة المحرك في مدى يتراوح من ٢٠ إلى ١١٠٪ من السرعة المبينة على لوحة اسم المحرك، ويمكن أيضًا الحصول على تغييرات أكثر من ذلك.

يمكن الحصول على محرك حثي ذي سرعات متعددة باستخدام مفاتيح كهربائية تغير عدد أقطاب الجزء الثابت (المخدات). إذا أدير عمود المحرك ذي القطبين بسرعة ٣٤٥٠ لفة/ د، فعلى سبيل المثال، تدل المعادلة رقم (٣١ , ٢) على أن استخدام المفتاح للتغيير إلى محرك ذي أربعة أقطاب سوف يقلل السرعة إلى ١٧٢٥ لفة/ د. يمكن الحصول أيضًا على نسب أخرى للسرعة، على سبيل المثال، يمكن التغيير بين أربعة أقطاب وستة أقطاب أوبين قطبين و سته أقطاب. لاحظ أن تغيير عدد الأقطاب يعطي سرعتين منفصلتين فقط. بينما يسمح الأسلوب التقني السابق ذكره بتغييرات لانهائية في السرعة.

يسمى المحرك الذي يوصل عضوه الدوار ذو اللفائف على التوالي مع ملفات جزئه الثابت (المخدات) باسم محرك عام لأنه سوف يعمل بقدرة كهربائية سواء من تيار متناوب أو مستمر. يمكن تقليل سرعة المحرك العام بتقليل تيار الكهرباء الموصل

إليه، على سبيل المثال، بتقليل الجهد الذي يتم إمداده. ويعتبر محرك المثقاب الكهربائي مثالاً للمحرك العام. يتم التحكم بسرعة محرك المثقاب باستخدام مقوِّم سليكوني متحكم به (SCR) للتحكم بالتيار المتناوب الداخل. يمكن الحصول على السرعة المتغيرة أيضًا بتشغيل محرك عام من تيار مستمر يمكن تغيير جهده، ولكن يتوفر التيار المتناوب على نطاق أوسع من التيار المستمر.

٢,٢,١٢ كفاءة المحرك

لايتم تحويل كل القدرة الكهربائية الموصلة للمحرك إلى قدرة ميكانيكية. أكثر الفواقد أهمية هي التي تفقد في الملفات، في قلب الملف المغناطيسي وفي الاحتكاك الميكانيكي. و يمكن حساب كفاءة قدرة المحرك باستخدام المعادلة التالية:

$$\eta_m = \frac{2\pi T_m n_m}{60 C_{ph} V I \cos(\phi)} \qquad (٢,٣٣)$$

حيث:

η_m = كفاءة قدرة المحرك، كسر عشري
T_m = العزم الخارج من المحرك، نيوتن.م
n_m = سرعة عمود المحرك، لفة/ د
V = الجهد الموصل للمحرك، ڤولت
I = التيار المسحوب بواسطة المحرك، أمبير
ϕ = زاوية الطور بين الجهد والتيار
C_{ph} = ١,٠ لمحركات أحادية الطور أو ١,٧٣ لمحركات ثلاثية الطور.

يجب على المحرك الذي يدور بدون حمل امتصاص القدرة الكهربائية للتغلب على الاحتكاك الميكانيكي، ولهذا تكون كفاءته للقدرة بدون حمل مساوية للصفر. وتصمم معظم المحركات للوصول إلى أعلى كفاءة عند نسبة تتراوح من ٨٠ إلى

١٢٠٪ من الحمل المقرر. المثال التالي يشرح حسابات كفاءة القدرة.

مثال رقم (٦ , ٢)

محرك كهربائي أحادي الطور يعمل بجهد مقداره ١١٥ ڤولت، يستهلك ٨ , ٧ أمبير عند دورانه بسرعة ١٧٢٥ لفة/ د، ويولد عزمًا مقداره ١ , ٣ نيوتن . م. زاوية الطور بين الجهد والتيار هي ٣٨°. احسب كفاءة قدرة المحرك.

الحل. جميع المعلومات المطلوبه للمعادلة رقم (٣٣ , ٢) معطاة في نص المسألة، ويكون الحل:

$$\eta_m = \frac{2\,\pi * 3.1 * 1725}{60 * 115 * 7.8 \cos(38)} = 0.79$$

ولهذا تكون كفاءة القدرة للمحرك ٧٩٪.

تمارين على الفصل الثاني

١ , ٢ (أ) احسب تركيزات النتيروجين (N_2)، أول أكسيد الكربون (CO)، ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، الأكسجين (O_2) في العادم على أساس حجمي جاف، عند احتراق البيوتان في الهواء. دع نسبة التكافؤ (ϕ) تتغير من صفر إلى ٥ , ١ بزيادات مقدارها ١ , ٠ وارسم تركيزات مركبات العادم مقابل نسبة التكافؤ (ϕ). لاحظ أن استخدام ورقة العمل الممتدة للحاسوب سوف تسهل الحسابات بدرجة كبيرة. أعد الجزء (أ) ماعدا مع (ب) البروبان (جـ) البنزين العادي، (د) ميثانول (كحول الميثيل)، (هـ) إيثانول (كحول الإيثيل)، (و) بيتانول (كحول البينيل) كوقود، (ز) أعد الجزأ (أ) فيما عدا استخدام ديزل رقم ١ كوقود، ضع علامة على المدى النموذجي لقيم نسبة التكافؤ لمحركات الديزل على الرسم. (ح) أعد الجزء (ز) فيما عدا استخدام الديزل رقم ٢ كوقود.

٢ , ٢ إذا كان الحد الأقصى للضغط اللحظي في الدورة المزدوجة هو (p_{peak}). يمكن توضيح أن:

$$p_{peak} / p_1 = (r / r_{co}) (\Theta_3 / \Theta_1)$$

بإعطاء الدورة المزدوجة مع $(\Theta_3/\Theta_1 = 9)$ وتتراوح نسب الضغط من ١٤ إلى ٣٠، ارسم علاقة كل من (p_{cme}/p_1) و(p_{peak}/p_1)، مقابل نسبة الضغط. وضح المنحنيات لقيمة (Υ) تساوي ١,٠ و٢,٠. باعتبار أن إجهاد المحرك يزداد مع (p_{peak}) بينما يزداد شغل الدورة مع (p_{cme})، ما الذي يمكن استنتاجه من الرسم باعتبار القيمة المرغوبة لكل من (r) و (Υ).

٣,٢ باعتبار دورة مزدوجة لها $(\Theta_3/\Theta_1 = 9)$ تتراوح نسب الضغط من ١٤ إلى ٣٠، ارسم (η_{cy}) مقابل نسبة الضغط. شاملاً بذلك منحنيات $(\Upsilon=0.1)$ و$(\Upsilon=0.2)$. من يكون أكثر تأثيراً على زيادة (η_{cy})، زيادة (r) أو تقليل (Υ)؟

٤,٢ محرك ديزل ذو ٦ أسطوانات يشحن تربينيًا سعته ٨,٢٦٨ لتر ونسبة ضغط ١٧,٣ : ١. عندما يدور المحرك بسرعة ٢٢٠٠ لفة/ د ينتج عزمًا مقداره ٦٣٤ نيوتن. م حيث يكون معدل استهلاكه لوقود الديزل رقم ٢ هو ٦,٣٠ كجم/ س. من خلال دراسة خصائص احتكاك المحرك، تم تحديد ثوابت المعادلة رقم (١٩,٢) لهذا المحرك كالتالي:

C_0 = ٠,٧٧ كيلوبسكال

C_1 = − ٠,٠١٤٣ كيلوبسكال/ (دورة/ د)

C_2 = ١,٢٧١ × ١٠ $^{-5}$ كيلوبسكال/ (دورة/ د).

وباستخدام المعلومات المعطاة في هذا التمرين والجدول رقم (١,٢)، احسب (أ) متوسط الضغط الفرملي الفعال، (ب) متوسط ضغط الاحتكاك الفعال، (جـ) متوسط الضغط البياني الفعال. واحسب أيضًا (د) مكافيء الوقود، (هـ) القدرة البيانية، (و) القدرة الفرملية، (ز) قدرة الاحتكاك. وأخيراً احسب (ح) الكفاءة الحرارية البيانية، (ط) الكفاءة الميكانيكية، و(ي) الكفاءة الفرملية الحرارية، و(ك) الاستهلاك النوعي الفرملي للوقود (BSFC).

٥,٢ استمراراً للتمرين رقم (٤,٢) وبافتراض زيادة العزم زيادة كافية للحفاظ على قدرة فرملية ثابتة عند تقليل سرعة المحرك إلى ١٨٠٠ لفة/ د. يمكنك أيضًا افتراض أن الكفاءة الحرارية البيانية تبقى ثابتة في أثناء تغيير السرعة (وهذا الافتراض دقيق إلى

حد معقول). عند دوران المحرك بسرعة ١٨٠٠ لفة/ دكما وصف، احسب: (أ) متوسط الضغط الفرملي الفعال، (ب) متوسط ضغط الاحتكاك الفعال، و(جـ) متوسط الضغط البياني الفعال، (د) القدرة البيانية و(هـ) القدرة المكافئة للوقود، (و) الكفاءة الحرارية الفرملية، (ز) المعدل الجديد لاستهلاك الوقود و(ح) الاستهلاك النوعي الفرملي للوقود (BSFC) الجديد، (ط) بمقارنة نتائج التمرينين رقمي(٤ , ٢) و(٥ , ٢؟)، هل يدور المحرك بكفاءة أكبر عند السرعة الأقل أم الأعلى؟ ولماذا؟

٦ , ٢ (أ) باستخدام المعادلات الواردة في الأجزاء (٤ , ٢ , ٢) إلى (٦ , ٢ , ٢) قم باشتقاق المعادلة التالية:

$$BSFC = \frac{3600}{\eta_{it}\ H_g}\left(1 + \frac{P_f}{P_b}\right)$$

(ب) افترض أن الكفاءة الحرارية البيانية ٤٥ , ٠ وخذ القيمة الحرارية لوقود الديزل رقم ٢ من الجدول رقم (١ , ٢). يغير تحميل المحرك من الصفر إلى الحد الأقصى بينما تبقى السرعة ثابتة. ولهذا سوف تبقى قدرة الاحتكاك ثابتة أيضًا ويمكنك تقدير قدرة الاحتكاك (P_f) من المعادلة التالية:

$$P_f = P_b\left(\frac{1 - \eta_m}{\eta_m}\right)$$

دع القدرة الفرملية القصوى (P_b) تساوي ١٠٠ كيلوواط، وعند القدرة الفرملية القصوى، افترض أن الكفاءة الميكانيكية ٨ , ٠، احسب قدرة الاحتكاك. ثم ارسم علاقة الاستهلاك النوعي الفرملي للوقود (BSFC) مقابل النسبة المئوية للقدرة الفرملية القصوى. لاحظ أن (BSFC) تصبح لانهائية عندما تكون القدرة الفرملية صفر، ولذلك دع النسبة المئوية للقدرة الفرملية تتغير من ١٠٪ إلى ١٠٠٪. سوف يبين الرسم شكل الخصائص عندما يرسم (BSFC) مقابل القدرة الفرملية.

٧ , ٢ أعد حل المثال رقم (٣ , ٢) مرة ثانية، لكن افترض أن إزاحة المحرك تساوي

٠ , ٧ لتر وسرعته ٢٠٠٠ لفة/ د.

٨ , ٢ محرك حثي أحادي الطور ذو أربعة أقطاب يدور بسرعة ١٧٥٠ لفة/ د بتزويده بقدرة كهربائية ذبذبتها ٦٠ هرتز. احسب (أ) السرعة المتزامنة، و(ب) الانزلاق.

٩ , ٢ أعد حل التمرين رقم (٨ , ٢)، ولكن افترض أن المحرك يدور بسرعة ١٧٣٠ لفة/ د.

١٠ , ٢ محرك كهربائي قدرته ٣ , ٣٧ كيلوواط (٥٠ حصان) يعمل بقدرة كهربائية ثلاثية الطور جهدها ٢٣٠ أو ٤٦٠ ڤولت لتيار متناوب ذبذبته ٦٠ هرتز، يستهلك المحرك تياراً مقداره ٦ , ١١٩ أو ٨ , ٥٩ أمبير بالحمل الكامل عند سرعة ١٧٧٥ لفة/ د الحرف الرمزي (G) ومعامل الخدمة يساوي ١٥ , ١. بافتراض أن المحرك موصل لـ ٤٦٠ ڤولت للتشغيل، احسب (أ) العزم عند الحمل الكامل، (ب) تيار البدء للعضو الدوار المقفل، (جـ) نسبة تيار البدء إلى تيار الحمل الكامل، (د) أقصى قدرة خارجة مسموح بها، (هـ) كفاءة القدرة عند الحمل الكامل إذا كانت زاوية الطور بين التيار والجهد ٣٥°. (و) هل هذا المحرك مناسب لبادىء حركة عبر الخط، أو هل يجب استخدام البادىء ذي التيار المخفض؟ (ز) ما عدد أقطاب هذا المحرك؟ الجدول رقم (٤٣٠ , ٧ب) لهيئة الترميز الكهربائية مفيد في حساب تيار البدء للعضو الدوار المقفول للمحركات الكهربائية. يوضح الجدول التالي المعلومات للحروف الرمزية الشائعة:

الحرف الرمزي	كيلوڤولت -أمبير/ حصان
G	٦,٢٩ - ٥,٦
H	٧,٠٩ - ٦,٣
J	٧,٩٩ - ٧,١
K	٨,٩٩ - ٨,٠
L	٩,٩٩ - ٩,٠

١١ , ٢ أعد حل التمرين رقم (١٠ , ٢)، فيما عدا استخدام محرك قدرته ٧٥ , ٠ كيلوواط (١ حصان) يعمل بقدرة كهربائية أحادية الطور جهدها ١١٥ أو ٢٣٠ ڤولت

لتيار متناوب ذبذبته ٦٠ هرتز. يسحب المحرك تياراً مقداره ١٢,٨ أو ٦,٤ أمبير عند الحمل الكامل عند دورانه بسرعة ١٧٢٥ لفة/ د، الحرف الرمزي (K)، ومعامل الخدمة ١,٢٥ . افترض أن المحرك موصل للتشغيل بتيار متناوب جهده ١١٥ ڤولت.

٢,١٢ أعد حل التمرين رقم (٢,١٠)، فيما عدا استخدام محرك قدرته ٠,٢٥ كيلوواط ($\frac{1}{3}$ حصان) يعمل بقدرة كهربائية أحادية الطور جهدها ١١٥ أو ٢٣٠ ڤولت لتيار متناوب ذبذبته ٦٠ هرتز، يسحب المحرك تياراً مقداره ٦,٠ أو ٣,٠ أمبير عند الحمل الكامل عند دورانه بسرعة ٣٤٥٠ لفة/ د، الحرف الرمزي (L)، ومعامل الخدمة ١,٥٧ . افترض أن المحرك موصل للتشغيل بتيار متناوب جهده ١١٥ ڤولت.

الفصل الثالث

نقل القدرة
Transmission of Power

● نقل القدرة الآلية ● جنازير نقل الحركة ● الإدارة بأعمدة مأخذ القدرة ● وسائل الأمان للأحمال الزائدة ● قدرة الموائع ● المضخات ● الصمامات ● المشغلات ● تمارين على الفصل الثالث

مقدمة

قدمنا في الفصل الأول مفهوم نظم التدعيم والعمليات لآلة زراعية. وقدمنا في الفصل الثاني المصادر الرئيسة للقدرة الزراعية أو بمعنى آخر، محرك الديزل للآلات ذاتية الحركة والمحرك الكهربائي للعديد من الآلات الثابتة التي تستخدم داخل مباني المزرعة. ويجب أن يتلقى النوع المقطور من الآلات قوة دفع وقدرة دورانية من الجرار. تنقل القدرة من الجرار إلى الآلة بواسطة وسائل الجر، عمود مأخذ القدرة أو القدرة الهيدرولية. كما تنقل القدرة الدورانية أيضًا بواسطة الجنازير. وفي هذا الفصل سنتناول الموضوعات المرتبطة بنقل القدرة الدورانية والهيدرولية.

٣,١ نقل القدرة الآلية

٣,١,١ نواقل الحركة بالسيور

تستخدم السيور التي على شكل حرف (V) بكثافة عالية في تطبيقات الآلات الزراعية التي لاتتطلّب بالضرورة الحفاظ على نسب ثابتة للسرعة. وتعمل السيور التي على شكل حرف (V) وكأنها وسادة لامتصاص الأحمال، وهي لاتتطلّب عملية تزييت، وأقل تأثراً بعدم المحاذاة مقارنة بالأنواع الأخرى من وسائل النقل، ويمكن أن

تعمل على سرعات عالية قد تصل إلى ٣٣ م/ ث ، على الرغم من أن السرعات في تطبيقات الآلات الزراعية نادراً ماتزيد على ١٥ م/ ث. وتعتبر السيور التي على شكل حرف (V) غير مناسبة للأحمال الكبيرة عند السرعات المنخفضة.

قد تستعمل السيور التي على شكل حرف (V) مفردة أو في مجموعات متشابهة ، على الرغم من أن السيور المفردة هي الأكثر شيوعًا في الآلات الزراعية. وتستعمل السيور التي على شكل حرف (V) المتعددة وذات الأربطة أحيانًا في وسائل نقل ذات قدرة عالية وأحمال متذبذبة ، وفي حالات عدم الاستقرار المتلازم. وتتكون السيور الموحدة من مجموعة متشابهة من اثنين أو أكثر من السيور التقليدية التي على شكل حرف (V) مرتبطة بطوق رابط رفيع يصل بين قممها. ويقلل ربط أطواق السير مع بعضها من الحركة الجانبية للسير ويحسن من توزيع الأحمال بين السيور.

ونتيجة لدخول جوانب السير الذي على شكل حرف (V) في تجاويف البكرة ، فإنه يستطيع أن ينقل قدراً معينًا من القدرة بشد كلي للعمود يكون أقل من النقل بالسيور المسطحة. وكذلك يمكن أن يعمل السير الذي على شكل حرف (V) على أقواس تلامس بسيطة نسبيًا كما هو الحال في ترتيبات العمود ذي المركز المغلق مع نسب سرعات عالية للعمود. ويمكن لسير مفرد من هذا النوع أن ينقل القدرة إلى مجموعة من المكونات المتصلة مع بعضها في ترتيب معين يسمى نقل الحركة بالسربنتينة. تسمح السيور التي على شكل حرف (V) بتوفير ارتفاع مقبول في التوجيه والترتيب الممكن للأعمدة التي يتضمنها نظام الإدارة.

يمكن تهيئة السيور التي على شكل حرف (V) لكي تعمل في تصميم ذي قابض للحركة ، ويتطلّب ذلك اتصالاً قريبًا ومحكمًا بواسطة طارة ضغط تحافظ على الاتجاه الصحيح للسير وتقوم بتحريكه بعيداً عن القائد عندما يرفع الضغط عليها. تحت ظروف معينة ، فإنه من الملائم ومن المرغوب اقتصاديًا ، إدارة طارة كبيرة نسبيًا ومسطحة بواسطة سير على شكل حرف (V) عن طريق بكرة صغيرة مجوفة. ويعرف هذا بنقل الحركة بالسيور المسطحة التي على شكل حرف (V) .

أنواع السيور التي على شكل حرف (V) ومواصفاتها القياسية.

توجد ثلاثة أنواع من السيور التي على شكل حرف (V) والمصممة خصيصًا للآلات

الزراعية وتعرف بسيور (V) الزراعية وسيور (V) الزراعية المزدوجة و السيور التي على شكل حرف (V) التي يمكن ضبط سرعتها. هذه الأنواع موضحة في الجدول رقم (١ , ٣) . والسيور المتعددة ذات الأربطة المصنوعة من سيور على شكل حرف (V) الزراعية متوفرة أيضًا. وتميز السيور على شكل حرف (V) الزراعية والسيور الزوجية عن الأنواع المماثلة والتي لها نفس مساحة المقطع عن السيور الصناعية التي على شكل حرف (V) وذلك بوضع العلامة (H) .

تتشابه مساحات مقطع السيور الزراعية التي على شكل حرف (V) مع مثيلتها الصناعية ولكن يختلف التركيب نتيجة لاختلاف نوعية الاستخدام. وتفضل السيور الزراعية التي على شكل حرف (V) في حالة أحمال الصدمات المفاجئة الكبيرة أو الأحمال الترددية، أو أية ظروف أخرى صعبة. بينما تكون السيور الصناعية التي على شكل حرف (V) أحسن حالاً ويتوقع أن تتحمل العمل لعدة سنوات من التشغيل المتواصل، أما السيور المستخدمة في تطبيقات المكننة الزراعية فيتوقع أن يتراوح عمرها التشغيلي من ١٠٠٠ إلى ٢٠٠٠ ساعة وكذلك تتعرض السيور الزراعية التي على شكل حرف (V) لأحمال أعلى من مثيلتها الصناعية.

يستخدم السير المزدوج الذي على شكل حرف (V) في نقل الحركة بالسربنتينات عندما يكون اتجاه الدوران لعمود واحد أو أكثر معكوسًا وبالتالي تنتقل القدرة عن طريق تجاويف البكرات من الناحيتين الداخلية والخارجية للسير، وسوف يناقش السير ذو السرعة القابلة للضبط في صفحة ٩٢ .

وضعت الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين (ASAE) توحيداً قياسيًا للسيور الزراعية التي على شكل حرف (V) وتغطي هذه المواصفات القياسية أبعاد القطاعات، الجدول رقم (١ , ٣)، أطوال السيور المتوفرة، مواصفات التجاويف، أقل أبعاد لطارات الشد، خطوات وأمثلة لحساب أطوال السيور اللازمة، وكذلك التركيب والشد المسموح به للسيور ونقل حركة السيور المجدولة ومواصفات قياس السيور.

تشبه المواصفات القياسية الموضوعة بواسطة الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين (ASAE) في كثير من الاعتبارات المواصفات التي وضعتها جمعية

جدول ٣,١. أبعاد القطاعات المستعرضة للسيور التي على شكل حرف (V) وزوايا تجاويف البكرات، والفروق بين الأقطار الخارجية الفعالة للبكرات وأقطار الخطوات*.

النوع	القطاع العرضي للسير	العرض العام للسير (م)	(بوصة)	العمق العام للسير (م)	(بوصة)	زاوية تجويف البكرة (درجة)§	القطر الخارجي الفعال مطروحًا منه قطر الخطوة للتجويف القياسي للبكرة (م)	(بوصة)
سير عادي (V)	HA	١٢,٧	٠,٥٠	٧,٩	٠,٣١	٣٠–٣٨	٦,٣٥	٠,٢٥
	HB	١٦,٧	٠,٦٦	١٠,٣	٠,٤١	٣٠–٣٨	٨,٨٩	٠,٣٥
	HC	٢٢,٢	٠,٨٨	١٣,٥	٠,٥٣	٣٠–٣٨	١٠,١٦	٠,٤٠
	HD	٣١,٨	١,٢٥	١٩,٠	٠,٧٥	٣٠–٣٨	١٥,٢٤	٠,٦٠
	HE	٣٨,١	١,٥٠	٢٣,٠	٠,٩١	٣٢–٣٨	٢٠,٣٢	٠,٨٠
سير مزدوج (V)	HAA	١٢,٧	٠,٥٠	١٠,٣	٠,٤١	٣٠–٣٨	٦,٣٥	٠,٢٥
	HBB	١٦,٧	٠,٦٦	١٣,٥	٠,٥٣	٣٠–٣٨	٩,٨٩	٠,٣٥
	HCC	٢٢,٢	٠,٨٨	١٧,٥	٠,٦٩	٣٠–٣٨	١٠,١٦	٠,٤٠
	HDD	٣١,٨	١,٢٥	٢٥,٤	١,٠٠	٣٠–٣٨	١٥,٢٤	٠,٦٠
سير (V) سرعته قابلة للضبط	HI	٢٥,٤	١,٠٠	١٢,٧	٠,٥٠	٢٦	٧,٦	٠,٣٠
	HJ	٣١,٨	١,٢٥	١٥,٠	٠,٥٩	٢٦	٩,٤	٠,٣٧
	HK	٣٨,١	١,٥٠	١٧,٥	٠,٦٩	٢٦	١١,٤	٠,٤٥
	HL	٤٤,٤	١,٧٥	١٩,٨	٠,٧٨	٢٦	١٣,٢	٠,٥٢
	HM	٥٠,٨	٢,٠٠	٢٢,٢	٠,٨٨	٢٦	١٥,٢	٠,٦٠

* المواصفة القياسية رقم (S 211.3) للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين.

§ تزيد زاوية تجويف البكرات بزيادة القطر للسيور المفردة والمزدوجة التي على شكل حرف (V).

مصنعي المطاط (RMA) للسيور الصناعية التي على شكل حرف (V). وهناك بعض الفروق البسيطة في أبعاد التجويف وأطوال السير المتوفرة. وتنص المواصفات القياسية لجمعية مصنعي المطاط على تحديد طول الخطوة للسيور بينما تحدد المواصفات القياسية للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين الأطوال الخارجية الفعالة. وتركز جمعية مصنعي المطاط أساسًا في مواصفاتها القياسية على نوعين من البكرات القائدة ويشتمل ذلك أيضًا على معادلات ومخططات بيانية لقدرات مختلفة. وتغطي المواصفات القياسية للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين مدى واسعًا من التطبيقات ولاتتضمن معدلات القدرة المنقولة. ففي تصميم الآلات الزراعية، يعتمد الحمل المسموح به على عدد ساعات التشغيل الفعلية لعمل معين.

الشكل الهندسي للسير الذي على شكل حرف (V). تستخدم السيور بصفة عامة لوصل أعمدة متوازية، لذلك فإن البكرات تدور في نفس الاتجاه أو في الاتجاه المعاكس كما هو موضح في الشكل رقم (١ ,٣). تعرف زاوية التلامس بأنها زاوية تلامس السير حول البكرة. وزوايا التلامس (بالتقدير الدائري) للنظام المفتوح للنقل بالسيور هي:

$$\theta_2 = \pi - 2 \sin^{-1} \frac{D_3 - D_2}{2C} \qquad (٣ ,١)$$

$$\theta_3 = \pi + 2 \sin^{-1} \frac{D_3 - D_2}{2C} \qquad (٣ ,٢)$$

حيث (D_2) و (D_3) هما القطران الخارجيان للبكرة.

زوايا التلامس للنقل بالسير المعكوس تكون متساوية وتعطى بالمعادلة:

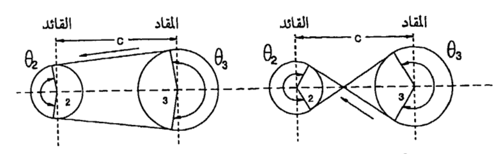
$$\theta_2 = \theta_3 = \pi + 2 \sin^{-1} \frac{D_3 + D_2}{2C} \qquad (٣ ,٣)$$

ويكون طول السير في النقل المفتوح تقريبًا:

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D_3 + D_2) + \frac{(D_3 - D_2)^2}{4C}$$

ويكون طول السير في النقل المعكوس هو :

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D_3 + D_2) + \frac{(D_3 + D_2)^2}{4C} \qquad (٣,٥)$$



شكل ٣,١. الأشكال الهندسية لنقل الحركة بالسيور على شكل حرف (V).

كينماتية النقل بالسيور التي على شكل حرف (V). عندما ينثني السير على تقوس البكرات، يتعرض القطاع الخارجي لشد ويتعرض القطاع الداخلي لضغط. ويحدد موضع المحاور الطبيعية للسير التي تعطي قطر الخطوة للبكرات، بواسطة تعيين موضع الأوتار الحاملة داخل مقطع السير. يوضح الجدول رقم (٣,١) الفروق بين القطر الفعال للبكرات وقطر الخطوة. ويختلف قطر الخطوة عن القطر الخارجي ويستخدم في حساب نسب السرعات وسرعات السير.

وتحسب سرعة السير (م/ ث) كالتالي:

$$v = 2\pi n_2 D_{p2} = 2\pi n_3 D_{p3} \qquad (٣,٦)$$

حيث:

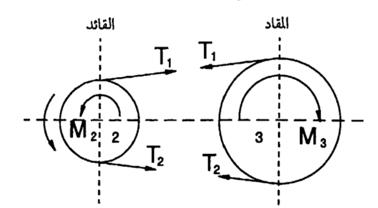
n_2, n_3 = السرعات الزاوية للبكرات أرقام ٢ ، ٣ على الترتيب، لفة/ ث

D_{p2}, D_{p3} = أقطار الخطوة للبكرات أرقام ٢ ، ٣ على الترتيب، م.

من المعادلة السابقة، نحصل على العلاقة التالية:

$$\frac{n_2}{n_3} = \frac{D_{p3}}{D_{p2}} \qquad (٣,٧)$$

آلية النقل بالسيور التي على شكل حرف (V). تنقل السيور التي على شكل حرف (V) القدرة بواسطة الفرق في قوى الشد بين نقطة دخول السير على البكرة ونقطة تركه لها، الشكل رقم (٢,٣). وتتولد هذه الفروق في الشد نتيجة الاحتكاك بين أسطح جدران السير وجوانب تجاويف البكرات. وتأتي أهمية ميول حواف التجاويف عندما يزداد الشد على السير، حينئذ يمكن أن يقوم السير بتوصيل مقدار أكبر من القوة المستخدمة في الإدارة.



شكل ٣,٢. قوى الشد على السير والعزوم على البكرات.

يوضح الشكل رقم (٣,٣) القوى المؤثرة على عنصر من السير عندما يلف حول البكرة. في النقل بالسيور القائدة، هناك جانب مشدود وآخر مرتخ. في الرسم التخطيطي الموضح في الشكل رقم (٣,٣)، تمثل $(T + dT)$ قوة الشد في الجانب المشدود من السير، وتمثل (T) قوة الشد في الجانب المرتخي، كما تمثل (dC) قوة الطرد المركزي، وتمثل (dN) قوة رد الفعل العمودي للبكرة، وتمثل (μdN) قوة الاحتكاك.

تعطى قوة الطرد المركزي (dC) بالمعادلة التالية:

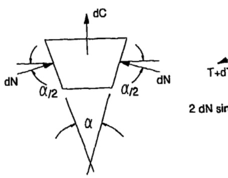
$$dC = \frac{d\,m\,v^2}{R} \qquad (٣,٨)$$

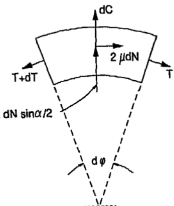
حيث :

dm = كتلة عنصر السير ، كجم

R = نصف قطر الخطوة ، م

V = سرعة السير ، م/ ث.





شكل ٣,٣ القوى المؤثرة على عنصر من سير على شكل حرف (V).

يمكن الحصول على كتلة عنصر السير (dm) بضرب كثافة مادة السير في حجمها كالتالي :

$$dm = \rho_b \; a R \, d\phi \qquad (٣,٩)$$

حيث :

ρ_b = كثافة مادة السير ، كجم/ م٣

a = مساحة مقطع السير ، م٢

$d\phi$ = زاوية التلامس لعنصر السير ، ز.

بالتعويض من المعادلة رقم (٩ , ٣) في المعادلة رقم (٨ , ٣) نحصل على :

$$dC = \rho_b \; a v^2 \; d\phi \qquad (٣,١٠)$$

بجمع القوى في الاتجاه نصف القطري، نحصل على:

$$dC + 2\,dN \sin(\alpha/2) - T \sin(d\phi/2) - (T + dT) \sin(d\phi/2) = 0 \qquad (٣,١١)$$

باعتبار أن ($dN = p_N R\, d\phi$) حيث (p_N) قوة رد الفعل العمودي لكل وحدة طول من السير. وبالتعويض عن (dC) و (dN) في المعادلة رقم (٣,١١) وأخذ النهايات نحصل على:

$$\rho_b\, a\, v^2 + 2\, p_N R \sin(\alpha/2) - T = 0 \qquad (٣,١٢)$$

وإذا لم ينقل السير أي قدرة، فإن الشد في السير سيكون راجعًا فقط إلى قوة الطرد المركزي بمعنى، ($T_c = \rho\, a\, v^2$) . بالتعويض عن (T_c) في المعادلة رقم (٣,١٢) والحل لـ (p_N) نحصل على:

$$p_N = \frac{T - T_c}{2 R \sin(\alpha/2)} \qquad (٣,١٣)$$

بجمع القوى في الاتجاه المماس نحصل على:

$$(T + dT) \cos(d\phi/2) - T \cos(d\phi/2) - 2\mu\, p_N R\, d\phi = 0 \qquad (٣,١٤)$$

وبالنهايات تصبح:

$$dT - 2\mu\, p_N R\, d\phi = 0 \qquad (٣,١٥)$$

بإحلال (p_N) وباعتبار أن ($k = \mu / \sin(\alpha/2)$) وإعادة الترتيب نحصل على:

$$\frac{dT}{T - T_c} = \frac{\mu}{\sin(\alpha/2)}\, d\phi \qquad (٣,١٦)$$

وبالتكامل نحصل على:

$$\int_{T_2}^{T_1} \frac{dT}{T - T_c} = k \int_0^{\theta} d\phi \qquad (٣,١٧)$$

وبأخذ التكامل وتطبيق الحدود وإعادة الترتيب، نحصل على:

$$\frac{T_1 - T_c}{T_2 - T_c} = e^{k\theta} \qquad (٣,١٨)$$

فإذا كانت سرعة السير منخفضة فإن (T_c) قد تحذف من المعادلة السابقة.

تحسب القدرة المنقولة بواسطة السير الذي على شكل (V) من الشد المؤثر وسرعة السير كما هو معطى بالمعادلة التالية:

$$P = \frac{(T_1 - T_2)\,v}{1000} \qquad (٣,١٩)$$

حيث:

T_1 = القوة في الجانب المشدود، نيوتن

T_2 = القوة في الجانب المرتخي، نيوتن

P = القدرة المنقولة، كيلوواط

v = سرعة السير، م/ث

$T_1 - T_2$ = الشد المؤثر، نيوتن.

وعند التصميم، يتم عادة حساب الشد على أساس حمل القدرة التصميمي الذي قد يزيد عن الحمل المتوسط المطلوب نقله، ولذلك فإنه يسمح بأحمال زائدة أو أحمال متغيرة. وتحسب القدرة التصميمية لكل عجلة مقادة في نظام عادي بضرب القدرة الحقيقية في معامل خدمة تقريبي. والقيم الموصى بها لمعامل الخدمة في تطبيقات المكننة الزراعية موجودة في الجدول رقم (٣,٣)، وتتراوح عادة من ١,٢ إلى ١,٥ .

جدول ٢,٣. أقطار البكرات القياسية ذات السرعات التي يمكن ضبطها كما وصفت من قبل الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين*.

القطاع العرضي للسير	أقل قطر خارجي موصى به (م)	أقل قطر خارجي موصى به (بوصة)	أقصى قطر خطوة مع أقل قطر خارجي (م)	أقصى قطر خطوة مع أقل قطر خارجي (بوصة)	أقصى تغيير لقطر السير (م)	أقصى تغيير لقطر السير (بوصة)
HI	١٧٧,٨	٧,٠٠	١٧٠,٢	٦,٧٠	٧٢,١	٢,٨٤
HJ	٢٢٢,٢	٨,٧٥	٢١٢,٨	٨,٣٨	٩٤,٧	٣,٧٣
HK	٢٦٦,٧	١٠,٥٠	٢٥٥,٣	١٠,٠٥	١١٧,٣	٤,٦٢
HL	٣١١,٢	١٢,٢٥	٢٩٨,٠	١١,٧٣	١٤٠,٢	٥,٥٢
HM	٣٥٥,٦	١٤,٠٠	٣٤٠,٤	١٣,٤٠	١٦٢,٨	٦,٤١

* المواصفة القياسية رقم (S 211.3) للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين.

جدول ٣,٣. معامل الخدمة وعمر الخدمة لبعض الآليات الزراعية.

الآلة أو وحدة التشغيل	معامل الخدمة	عمر الخدمة (ساعة)
أسطوانة الدراس لآلة الحصاد والدراس المركبة	١,٥	١٠٠٠–٢٠٠٠
قضيب حش	١,٥	١٠٠٠–٢٠٠٠
رداخ قش	١,٠	١٠٠٠–٢٠٠٠
حذاء تنظيف	١,٠	١٠٠٠–٢٠٠٠
مقطع سيقان	١,٥	٤٠٠–١٠٠٠
آلة تصفيف قش	١,٢	٦٠٠–١٢٠٠
قاطع علف	١,٥	٥٠٠–١٠٠٠
نافخ علف	١,٥	٥٠٠–١٠٠٠
آلة تهيئة أعلاف	١,٥	٨٠٠–٢٠٠٠
بريمة توصيل	١,٣	٤٠٠–١٠٠٠
الحاصد الهزاز للأشجار	١,٥	٤٠٠–١٠٠٠
حفار الفول السوداني	١,٣	٨٠٠–١٦٠٠
آلة رش البساتين	١,٣	٨٠٠–٢٠٠٠

إذا كانت النسبة بين قوة الشد في الطرف المشدود من السير وقوة الشد في الطرف المرتخي كبيرة، فسوف يكون انزلاق السير كبيراً جداً. وفي التصميم الصحيح، يجب ألا يتعدى الانزلاق نسبة تتراوح من ١ إلى ٢٪. وإذا كانت النسبة أصغر مما هو مطلوب، فإنه تتولد الحاجة إلى قوى شد غير ضرورية للعمل مع حمل معين وبذلك يقل عمر السير، وأقصى نسبة شد مسموح بها هي:

$$R_{a\theta} = \frac{T_1}{T_2} = e^{k\theta} \qquad (٣, ٢٠)$$

ويفترض غالبا أن قيمة نسبة الشد ($R_{a\pi}$) تساوي ٥ (نسبة الشد المسموح بها في قوس تلامس يعادل ١٨٠°) في تصميم وسيلة نقل بالسير الذي على شكل حرف (V) مع تجويف على شكل حرف (V). ويعطي ذلك قيمة للمعامل (k) تساوي ٠,٥١٢ ويمكن السماح بنسبة شد أعلى إذا استخدم الشد الآلي في نقل القدرة. وفي حالة سير على شكل حرف (V) يعمل مع طارة مسطحة، فإن قيمة($R_{a\pi} = 2.5$) وهي تمثل قيمة ملائمة، و (k) تساوي ٠,٢٩٢ .

وعندما تكون مساحة قوس التلامس أقل من ١٨٠°، تكون نسبة الشد المسموح بها أقل كما هو واضح من المعادلة رقم (٣, ٢٠)، وبالتالي تتطلّب قيما مرتفعة لـ(T_1) و(T_2) لشد معين وقدرة معينة. على سبيل المثال لو كان الشد الفعال يعادل ٣٦٠ نيوتن للقدرة التصميمية، فإن (T_1) و (T_2) سوف يكونا ٤٥٠، ٩٠ نيوتن على الترتيب، إذا كان قوس التلامس في تجاويف البكرات (($R_{a\pi} = 5$) (180°) . ولكن إذا كان قوس التلامس ١٢٠° فقط وأقصى نسبة شد مسموح بها هي ٢,٩ فهذا يتطلّب قوة شد تعادل ٥٤٩ و ١٨٠ نيوتن. وتستخدم عادة طارات شدادة مسطحة في الجانب الخلفي لإحداث شد فعال وفي نفس الوقت زيادة قوس التلامس على البكرات المحملة.

وفي حالة بكرتين قائدتين وبدون طارة شدادة، تعتبر البكرة الصغرى هي الحرجة فيما يختص بنسبة الشد (الانزلاق) لأن لها أقل قوس تلامس. وفي السير المسطح الذي على شكل حرف (V) ذي الطارتين وبدون طارة شدادة، فإنه يكون لكل

من البكرة والطارة المسطحة نفس أقصى نسبة الشد المسموح بها عندما يكون قوس التلامس حوالي ١٣٠° على البكرة و٢٣٠° على الطارة المسطحة. وعندما يحتوي المحور القائد على أكثر من بكرة أو طارة مقادة، فيجب تحديد قوى الشد بطريقة تراكمية. ويجب أن يكون الشد مضبوطًا بحيث لايكون هناك طارة تؤثر عليها نسبة شد أكبر من القيمة المسموح بها. وعادة تكون الطارة القائدة في العجلات المتعددة هي الأكثر قابلية للانزلاق.

الإجهادات وعمر التشغيل. تنتج الإجهادات في السير القائد الذي على شكل حرف (V) من الشد المؤثر المطلوب لحمل القدرة، ومن الجانب المرتخي المطلوب لمنع الانزلاق في السير، الانحناء حول كل عجلة، وقوة الطرد المركزي على السير. ويتناسب الشد الناتج عن الانحناء (Tb) في الألياف الخارجية للسير لمساحة مقطع معينة عكسيًا مع قطر العجلة. ويمكن التعبير عن الشد الراجع إلى قوة الطرد المركزي بالمعادلة التالية:

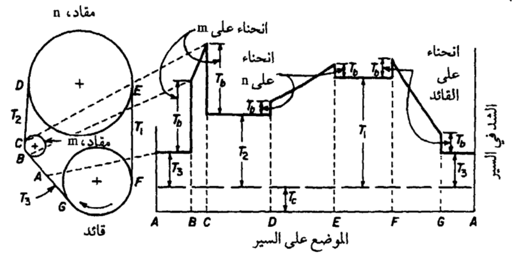
$$T_c = w\, v^2 \qquad (٣ , ٢١)$$

حيث:

T_c = الشد الناتج عن قوة الطرد المركزي، نيوتن

w = كتلة السير، كجم/ م من طول السير.

يوضح الشكل رقم (٤ , ٣) الشد في جهاز النقل ثلاثي البكرات. حيث تمثل (T3) الشد في الجانب المرتخي، وتمثل الفروق (T2-T3) و(T1-T2) الشد الفعال المطلوب لنقل القدرة. لاحظ أن هناك نهاية عظمى واحدة للشد عند كل عجلة. وقد وجد معمليا أن انهيار السير الذي على شكل حرف (V) يحدث نتيجة التعب الناتج عن تكرار تأثير قوى الشد العظمى، ويمكن تقدير متوسط عمر التعب لسير إذا علم مقدار الحمل بدقة أو أمكن تقديره.



شكل ٤ ,٣. قوى الشد على سير بالنسبة لوضعه على ناقل ذي ثلاث بكرات.

(عن : Gates Rubber Co., from Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

وقد طورت شركة (Gates) للمطاط طريقة تصميمية للتنبؤ بعمر الخدمة للسيور التي على شكل حرف (V)، وهي تعتمد على العوامل التالية :

١ ـ عدد العجلات على ناقل الحركة.

٢ ـ القدرة التصميمية لكل عجلة (شاملة معامل الخدمة المناسب لكل عجلة مقادة) .

٣ ـ سرعة السير.

٤ ـ قوس التلامس لكل عجلة.

٥ ـ ترتيب العجلات المحملة وطارات الشد على المحور القائد.

٦ ـ قطر الخطوة لكل عجلة.

٧ ـ خصائص إجهاد التعب وأبعاد مقطع السير لنوع محدد، ومقطع السير موضع الاعتبار.

٨ ـ طول السير.

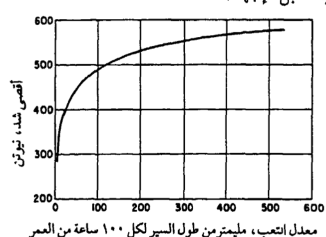
ويعتمد نظام (Gates) على تحديد معدل التعب (من معادلة تجريبية أو من مخطط بياني) المناظر لقيمة الشد العظمى لكل عجلة عند سرعة معينة للسير. وحدات معدل التعب هي ملليمتر واحد من طول السير لكل ١٠٠ ساعة من عمره. تضاف معدلات التعب للعجلات المنفردة إلى بعضها للحصول على معدل التعب الكلي لمقاس معين

ونوع محدد من السيور المرتبطة بناقل الحركة موضع الاعتبار. ويحسب متوسط عمر الخدمة للسير عند سرعة معينة كالتالي:

$$\text{Belt Service Life (h)} = \frac{\text{Belt Length (mm)} * 100}{\text{Total Fatigue Rate}} \qquad (٣,٢٢)$$

وعند شد معين للجانب المشدود وقطر خطوة محدد، تؤدي زيادة سرعة السير إلى زيادة مناظرة في معدل التعب، وذلك نظراً للتذبذب العالي في دورات الإجهاد، وأيضًا بسبب زيادة قوة الشد الناتجة عن قوة الطرد المركزي عند السرعات العالية (سوف تزيد أيضًا القدرة المنقولة).

وتحدد علاقة معدل التعب بالشد والسرعة لكل نوع من أنواع السيور ولكل مقطع عن طريق تجارب تجرى فيها اختبارات المتانة في المعمل، ومنها نوجد معادلة عامة تقديرية. ويوضح الشكل رقم (٣,٥) منحنى نمطيًا لسرعة واحدة. وبالضرورة، فإن منحنى الشد ومعدل التعب هو مقلوب منحنى (S-N) العادي (دورات التعب مقابل الإجهاد).



شكل ٣,٥. علاقة نمطية بين الشد ومعدل التعب لسير مفرد على شكل حرف (V) له مقطع وجودة معينة عند سرعة واحدة.

(عن: **Gates Rubber Co., from Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978**)

وفي تصميم مجموعة نقل الحركة، يؤثر تعاقب البكرات أو الطارات على القيم العالية للشد وبالتالي على مدة الخدمة. وإذا كان من الممكن ترتيب البكرات

المتعددة بحيث يترك السير البكرة القائدة ويصل إلى البكرات المقادة بغرض زيادة القدرة المطلوبة، فإنه يمكن تقليل قيم الشد القصوى التي تقع على البكرات ذات القدرة المنخفضة إلى الحد الأدنى. وفي حالات خاصة عندما تكون أقطار البكرات صغيرة فإنه من الممكن أن يكون هناك شد أصغر في بحر السير وذلك لتفادي تجميع القوة المؤثرة في الجانب ذي الشد الأعلى مع الشد المرتفع الناتج عن الانحناء. يجب أن توضع الطارة الشدادة (إذا استخدمت) في الجانب المرتخي.

زيادة أقطار البكرة في مجموعة نقل حركة، إذا كانت ملائمة، يقلل كل من إجهادات الانحناء والشد المؤثر المطلوب، وربما يسمح حتى باستخدام سير ذي مقطع أقل. ونادراً ماتكون قوة الطرد المركزي هي العامل المحدد في تصميم ناقل الحركة للمعدات الزراعية عند السرعات المستخدمة.

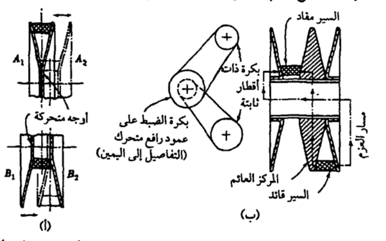
نقل الحركة بالسيور التي على شكل حرف (V) ذات السرعة المتغيرة. في السير الذي على شكل حرف (V) الذي يمكن التحكم في خطوته، تكون للبكرة المقدرة على التحرك محوريًا بوجه واحد بالنسبة للوجه الآخر، وبالتالي تغير نصف القطر الذي يعمل عليه السير. ويمكن تغيير بعض البكرات ذات الخطوة التي يمكن ضبطها عند التوقف فقط، ويمكن تغيير البعض الآخر أثناء الحركة، الشكل رقم (٦ , ٣). في هذا المرجع، يعني المصطلح "ناقل الحركة ذو السرعة المتغيرة" المقدرة على تغيير نسبة السرعة في المدى الكلي للتحكم بينما تكون المجموعة مستمرة في التشغيل وتحت التحميل.

وتكون السيور المصممة خصيصًا للعمل بسرعة متغيرة أعرض من السيور العادية التي على شكل حرف (V). ويكون هذا العرض الإضافي ضروريًا للحصول على مجالات مناسبة من نسب السرعة بالإضافة إلى زيادة سعة التحميل. تكون السيور ذات السمك الصغير نسبيًا مطلوبة في هذا النوع من الإدارة لأن أقطار التشغيل تكون صغيرة عادةً.

ومع البكرات ذات السرعة القابلة للضبط، و السيور التي على شكل حرف (V) كما هو موضح في الجدولين رقمي (١ , ٣) و(٢ , ٣)، فإنه يمكن الحصول على نسب قصوى لمجال السرعات يتراوح من ١,٧٥ لسيور (HI) إلى ١,٩ لسيور (HM)

عند استعمال أصغر قطر مسموح به لبكرة يمكن ضبط خطوتها مع أخرى ذات قطر ثابت. ويتناسب مجال السرعة لسير معين عكسيًا مع قطر البكرة، حيث إنه يتحدد أكبر تغيير في قطر الخطوة بزاوية التجويف ٢٦ ° وعرض قمة السير كما في الشكل رقم(٦ , ٣أ).

مجال السرعة لمجموعة مركبة من اثنتين من البكرات ذات الخطوات القابلة للضبط هو حاصل ضرب قيم المجالات الفردية لكل من البكرتين. وعندما يكون لكلا البكرتين قطر أدنى موصى به، فإن أقصى نسبة سرعة تتغير من ٠ , ٣ للسيور (HI) إلى ٧ , ٣ للسيور (HM). وأكثر الترتيبات شيوعًا هي التي تتكون من بكرتين على مراكز ثابتة، كما هو مبين في الشكل رقم (٦ , ٣أ). إذا كانت الأوجه (A1) و (B2) مثبتة محوريًا بينما الأوجه (A2) و (B1) تتحرك معهما تزامنيًا، فإنه يمكن الوصول إلى محاذاة مناسبة عند كل نسب السرعات لأن السير كله يتحرك محوريًا.



شكل ٦ , ٣. (أ) ترتيب لبكرتين يمكن ضبط طول خطوتيهما على مراكز ثابتة، (ب) بكرة مزدوجة يمكن ضبط طول خطوتها على مركز عائم (متحرك). (عن : **Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978**)

يتكون النظام الثالث من سيرين يمكن ضبط سرعتيهما وفي وضع مترادف وبكرة مزدوجة يمكن ضبط خطوتها مع وجود قطاع ذي مركز عائم كما هو مبين في الشكل رقم (٦ , ٣ب). وتتغير نسبة السرعة بواسطة تحريك البكرة ذات الخطوة التي يمكن ضبطها على طول الخط الذي يحفظ مجموع أطوال السير المطلوبة ثابتة عندما

يتغير موضع المركز العائم على المحور. وهذا النظام معرض لاختلاف محاذاة السير كما تمت مناقشته سابقًا في الترتيبات التي تستخدم بكرة منفردة ذات خطوة يمكن ضبطها.

تصميم وسيلة نقل الحركة بسير على شكل حرف (V). يمكن تلخيص الخطوات التصميمية لشركة (Gates) كالتالي:

ـ حدد القدرة التصميمية لناقل الحركة بضرب القدرة الحقيقية المطلوبة في معامل الخدمة. يوضح الجدول رقم (٣,٣) أمثلة لمعاملات الخدمة الموصى بها بواسطة شركة (Gates) للمطاط.

ـ حدد نوع السير ومقطعه بناءً على القدرة التصميمية. يكون اختيار نوع السير ومقطعه على أساس قطر الخطوة للبكرات القائدة والمقادة وسرعاتها. قدمت شركة (Gates) للمطاط عام١٩٧٦م منحنيات لاختيار مقطع السير المناسب على أساس سرعة العمود الأسرع والقدرة التصميمية. عندما تزداد القدرة التصميمية لعمود سرعته ثابتة فإننا نحتاج مقاطع سير أكبر. أيضا إذا تناقصت سرعة العمود فإن السيور العريضة قد تكون ضرورية لنقل نفس القدرة.

ـ ارسم رسمًا تخطيطًا لمحور القائد واحسب أقطار الخطوات لكل البكرات القائدة والمقادة واوجد طول السير بالتقريب. اوجد أيضًا قوس التلامس لكل بكرة.

ـ الخطوة التالية هي إيجاد نسب شد السير، الشد المؤثر، وشدود بحر السير. وهي تحسب باستخدام المعادلات المعطاة سابقًا.

ـ حدد معدل التعب الكلي وعمر الخدمة عن طريق القيمة القصوى للشد عند سرعة معينة للسير. يستخدم لذلك المخطط البياني المعطى في كتيب (Gates) لحساب معدل التعب.

يجب مقارنة العمر المقدر للسير بالقيم الموصى بها والمعطاة في الجدول رقم (٣,٣). إذا كان العمر المقدر لايتفق مع القيمة الموصى بها فيجب أن تنفذ واحدة أو أكثر من الخطوات التالية: لتغييره:

١ ـ زيادة عدد السيور.

٢ ـ زيادة القطر الأصغر.

٣ـ تغيير مقطع السير.
٤ ـ زيادة طول السير أو تقليل السرعة.
٥ ـ تقليل العزم.

٢,١,٣ نواقل الحركة بالجنازير

قد يكون الاستخدام الأول للجنازير تم في آلة حصاد اخترعها (Cyrus McCormick, 1837). وأصبحت الجنازير اليوم تلعب دوراً هامًا في كثير من الآلات الزراعية مثل آلات عمل البالات، آلات حصاد الذرة، آلات الحصاد والدراس المركبة، آلات جني القطن وآلات حصاد البنجر. وعلى النقيض من النقل بالسيور التي على شكل حرف (V)، تستخدم وسائل النقل بالجنزير حيث يكون من الأهمية الحفاظ على نسبة سرعة دقيقة. وسائل النقل بالجنازير لها القدرة على نقل قدر كبير من القدرة عند سرعات منخفضة. وهي تحتاج إلى ضبط محاذاة أفضل للمحاور وصيانة أكثر من وسائل النقل بالسيور التي على شكل حرف (V).

أنواع الجنازير ومواصفاتها القياسية. يمكن أن تقسم الجنازير إلى الفئات التالية:

١ ـ جنازير أسطوانية.
جنازير أسطوانية ذات خطوة قياسية.
جنزير أسطواني ذي خطوة قياسية مزدوجة.
٢ ـ أنواع أخرى.
جنازير ذات حلقات قابلة للفصل.
جنازير ذات حلقات من الحديد الزهر.
جنازير ذات محور ارتكاز رأسي.

يعتبر طول الخطوة في الجنازير هو الطول الفعال لوصلة واحدة. تستخدم الجنازير الأسطوانية ذات الخطوة القياسية والجنازير الأسطوانية ذات الخطوة المزدوجة والجنازير ذات الحلقات القابلة للفصل، الشكل رقم (٣,٧)، بكثرة في

الآلات الزراعية. تركب كل الجنازير الأسطوانية بحيث تدور الأسطوانات عندما تتلامس مع أسنان العجلة المسننة. قد تستخدم الجنازير الأسطوانية بصورة مفردة أو متعددة في ترتيبات قياسية. تم وضع الأبعاد القياسية لكل تلك الأنواع بواسطة جمعية المواصفات القياسية الأمريكية (ASA) . والأبعاد القياسية للجنازير الأسطوانية معطاة في الجدول رقم (٤ , ٣).



جنزير ذو اسطوانات مزدوج الخطوة — جنزير ذو أسطوانات قياسي الخطوة

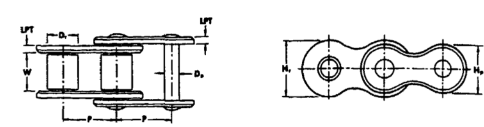
جنزير ذو حلقات من الصلب المضغوط — جنزير ذو حلقات من الحديد الزهر

شكل ٣,٧. أربع أنواع من جنازير نقل الحركة الشائعة الاستخدام في الآليات الزراعية.

(**عن : Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978**)

يعتبر نقل الحركة بالجنزير الأسطواني القياسي مناسبًا عند سرعات خطية أقل من ٥ , ٠ م/ ث حتى ٢٠ م/ ث وهي تناسب الأحمال الكبيرة التي تتطلّب نظام نقل مكثفًا. تقل السرعة القصوى المسموح بها بزيادة الخطوة. ويمكن استخدام الجنازير متعددة العرض ذات الخطوة القصيرة للنظم الضخمة عند سرعات عالية. تمثل الجنازير الأسطوانية البناء المحكم الدقيق، وتحت الظروف المفضلة قد تصل الكفاءات لمستوى عال يتراوح من ٩٨ إلى ٩٩٪.

جدول ٣,٤. الأبعاد العامة للجنزير م (بوصة).



رقم الجنزير القياسي	الخطوة P	أقصى قطر للحلقة D_r	العرض الإسمي W	القطر الإسمي للبنز D_p	سمك لوح الوصل LPT: سلاسل قياسية	سمك لوح الوصل LPT: سلاسل ثقيلة
٢٥	٦,٣٥ (٠,٢٥٠)	٣,٣٠ (٠,١٣٠)*	٣,١٨ (٠,١٢٥)	٢,٣٠ (٠,٠٩٠)	٠,٧٦ (٠,٠٣٠) —	—
٣٥	٩,٥٢ (٠,٣٧٥)	٥,٠٨ (٠,٢٠٠)*	٤,٧٨ (٠,١٨٨)	٣,٥٨ (٠,١٤١)	١,٢٧ (٠,٠٥٠) —	—
٤١	١٢,٧٠ (٠,٥٠٠)	٧,٧٧ (٠,٣٠٦)	٦,٣٥ (٠,٢٥٠)	٣,٥٨ (٠,١٤١)	١,٢٧ (٠,٠٥٠) —	—
٤٠	١٢,٧٠ (٠,٥٠٠)	٧,٩٢ (٠,٣١٢)	٧,٩٢ (٠,٣١٢)	٣,٩٦ (٠,١٥٦)	١,٥٢ (٠,٠٦٠) —	—
٥٠	١٥,٨٨ (٠,٦٢٥)	١٠,١٦ (٠,٤٠٠)	٩,٥٢ (٠,٣٧٥)	٥,٠٨ (٠,٢٠٠)	٢,٠٣ (٠,٠٨٠) —	—
٦٠	١٩,٠٥ (٠,٧٥٠)	١١,٩١ (٠,٤٦٩)	١٢,٧٠ (٠,٥٠٠)	٥,٩٤ (٠,٢٣٤)	٢,٣٩ (٠,٠٩٤)	٣,١٨ (٠,١٢٥)
٨٠	٢٥,٤٠ (١,٠٠٠)	١٥,٨٧ (٠,٦٢٥)	١٥,٨٧ (٠,٦٢٥)	٧,٩٢ (٠,٣١٢)	٣,١٨ (٠,١٢٥)	٣,٩٦ (٠,١٥٦)
١٠٠	٣١,٧٥ (١,٢٥٠)	١٩,٠٥ (٠,٧٥٠)	١٩,٠٥ (٠,٧٥٠)	٩,٥٢ (٠,٣٧٥)	٣,٩٦ (٠,١٥٦)	٤,٧٥ (٠,١٨٧)
١٢٠	٣٨,١٠ (١,٥٠٠)	٢٢,٢٢ (٠,٨٧٥)	٢٥,٤٠ (١,٠٠٠)	١١,١٠ (٠,٤٣٧)	٤,٧٥ (٠,١٨٧)	٥,٥٦ (٠,٢١٩)
١٤٠	٤٤,٤٥ (١,٧٥٠)	٢٥,٤٠ (١,٠٠٠)	٢٥,٤٠ (١,٠٠٠)	١٢,٧٠ (٠,٥٠٠)	٥,٥٦ (٠,٢١٩)	٦,٣٥ (٠,٢٥٠)
١٦٠	٥٠,٨٠ (٢,٠٠٠)	٢٨,٥٧ (١,١٢٥)	٣١,٧٥ (١,٢٥٠)	١٤,٢٧ (٠,٥٦٢)	٦,٣٥ (٠,٢٥٠)	٧,١٤ (٠,٢٨١)
١٨٠	٥٧,١٥ (٢,٢٥٠)	٣٥,٧١ (١,٤٠٦)	٣٥,٧١ (١,٤٠٦)	١٧,٤٥ (٠,٦٨٧)	٧,١٤ (٠,٢٨١)	٧,٩٢ (٠,٣١٢)
٢٠٠	٦٣,٥٠ (٢,٥٠٠)	٣٩,٦٧ (١,٥٦٢)	٣٨,١٠ (١,٥٠٠)	١٩,٨٤ (٠,٧٨١)	٧,٩٢ (٠,٣١٢)	٩,٥٢ (٠,٣٧٥)
٢٤٠	٧٦,٢٠ (٣,٠٠٠)	٤٧,٦٢ (١,٨٧٥)	٤٧,٦٢ (١,٨٧٥)	٢٣,٨٠ (٠,٩٣٧)	٩,٥٢ (٠,٣٧٥)	١٢,٧٠ (٠,٥٠٠)

* قطر الدفع، هذه الجنازير ليس لها أسطوانات.

يمكن أن تدار العجلات المسننة من أي من الجانبين الداخلي أو الخارجي للجنزير الأسطواني. وعلى الرغم من أنه يوصى بحوض زيت لتزييت نظم النقل ذات السرعة العالية، إلا أن هذا النظام غالبًا لايكون عمليًا للمعدات الزراعية. الجنازير الأسطوانية ذات الخطوة القياسية أغلى عدة مرات في الثمن من الجنازير ذات الحلقات الصلب.

يستخدم الجنزير الأسطواني ذي الخطوة المزدوجة نفس البنوز، والبطانات المعدنية والأسطوانات كجنزير أسطواني له خطوة قياسية، ولكن يكون للألواح الجانبية ضعف الخطوة. لذا، فالجنزير الأسطواني ذو الخطوة المزدوجة له نفس مقاومة ودقة الجنازير ذات الخطوة القياسية لكن كتلتها أقل. وهي أقل تكلفة من الجنازير الأسطوانية ذات الخطوة القياسية لكنها تعتبر أكثر تكلفة من الجنزير ذي الحلقات الصلبة. الجنازير ذات الخطوة المزدوجة تكون مناسبة للسرعات أو للإدارة البطيئة والمتوسطة. وذلك لأن قطر الأسطوانة يكون ٥/١٦ فقط من الخطوة، وتكون هناك مسافة لابأس بها لأسنان العجلة المسننة، وبالتحديد فإن العجلات المسننة المصنوعة من الحديد الزهر تعتبر أكثر اقتصاداً من الأسنان المفتوحة آليًا.

أثناء الخمسينيات، أنتجت عدة شركات جنازير يمكن تغييرها مع الجنازير قياسية الخطوة أو زوجية الخطوة من النوع الأسطواني ولكنها ذاتية التزييت. ويحتوي هذا النوع من الجنازير على وصلات مشربة بالزيت وملبدة بالصلب عند اتصالها ببعضها، وهي تحل محل البطانة المعدنية والأسطوانات في النوع التقليدي. وقد صممت لتوضع في الأماكن الداخلية التي يصعب فيها إجراء عمليات التزييت أو أن تكون عملية التزييت غير سهلة. ويقع العديد من تطبيقات الآلات الزراعية داخل هذا التصنيف. ولأنه لايحتوي على أسطوانات، فلايوصى باستخدامه في حالة السرعات العالية أو الأحمال الكبيرة جداً.

تكلفة الجنازير ذاتية التزييت ذات الخطوة القياسية أو زوجية الخطوة هي نفس تكلفة الجنازير التقليدية من نفس المقاس. ولكن في نفس الوقت فإن الإجهادات القصوى لها أقل من الجنازير التقليدية بنسبة تتراوح من ٥ إلى ٢٠٪. ومن واقع الاختبارات العملية والخبرة الحقلية، فإنه عند حمل معين ومسموحات معينة من

نسبة المئوية للاستطالة نتيجة التآكل، فإن عمر الخدمة للجنازير ذاتية التزييت يعتبر كبر عدة مرات من الجنازير التقليدية غير المزيتة. ولكن لو استخدم الجنزير التقليدي تم تزييته بطريقة مناسبة، فإنه في الغالب يعطي أداء مشابها للجنازير ذاتية التزييت.

لتقليل تكلفة هذا النوع من الجنازير، فقد تم إنتاج جنزير للأغرض الزراعية ذي خطوة مزدوجة وله نفس الأبعاد مثل الجنزير ذي الخطوة المزدوجة العادية لكنه أقل سعراً نتيجة استخدام مواد مختلفة وتوصيلات لها خلوص أكبر، وبالتالي السماح تفاوت أكثر في الصناعة. ويعتقد أن خواص أدائها أقل من النوع العادي للجنازير زوجية. تستعمل الجنازير ذات الحلقات القابلة للفصل المصنوعة من الصلب بكثرة ي المعدات الزراعية، في كل من نقل القدرة وفي معدات الرفع والنقل. وهي أقل كلفة من أنواع الجنازير الأخرى وتعتبر مناسبة للأحمال المتوسطة عند سرعات لا تتعدى مايتراوح من ٢ إلى ٢,٥ م/ث. وفي ظروف التشغيل غير السليمة تكون لجنازير ذات الحلقات معرضة لتآكل كبير مقارنة مع الجنازير ذات الأسطوانات بسبب لوصلات المفككة، والخطافات المفتوحة. وعادة لايحتاج الجنزير ذي الحلقات لقابل للفصل إلى تزييت لأن التزييت قد يجلب الأتربة داخل الوصلات.

وقد تم إنتاج نوع محسن من الجنزير ذي الحلقات المصنوعة من الصلب في داية الخمسينيات ويعتقد أن مقدرة تحملها لإجهاد الشد تزيد بمقدار الثلث عن الأنواع لتقليدية الأخرى. وأن مقدرة تحملها لإجهاد التعب أكثر من الضعف بالنسبة للأنواع لأخرى. ويصنع الخطاف بالبرم بدلاً من قطع المادة الأساسية من مركز الحلقات، هذا النوع من الصلب "المرتفع في إجهاد التعب" يعتبر أغلى ثمناً من النوع لتقليدي.

يتكون الجنزير ذو محور الارتكاز الرأسي من وصلات متماثلة مع أسطوانات وترية مجوفة من الحديد الزهر أو يشكل بالكامل بقضيبين جانبيين منحرفين. تكون لوصلات متصلة بواسطة مسامير (بنوز) موضوعة في فتحات في نهايات القضبان لجانبي من خلال الأسطوانات الوترية.

هندسة وسائل النقل بالجنازير. يكون قطر الخطوة دالة في خطوة لجنزير وعدد الأسنان على العجلة المسننة. وبالإشارة إلى الشكل رقم (٣,٨)،

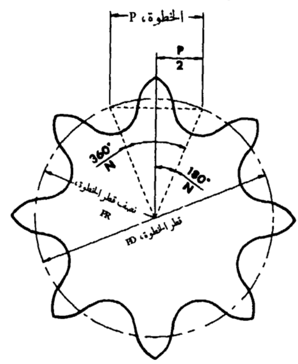
ويُعطى قطر الخطوة بـ:

$$PD = \frac{P}{\sin(180/N)} \qquad (٣,٢٣)$$

حيث:

P = خطوة الجنزير

N = عدد أسنان العجلة المسننة.



شكل ٣,٨. حساب قطر خطوة العجلة المسننة.

(عن: Chains for Power Transmission and Material Handling, by permission of the American Chain Association, Rockville, MD)

يحسب الطول (L) بعدد الخطوات، ويقرب بالمعادلة التالية:

$$\frac{L}{P} = \frac{2C}{P} + \frac{N_1 + N_2}{2P} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 (C/P)} \qquad (٣,٢٤)$$

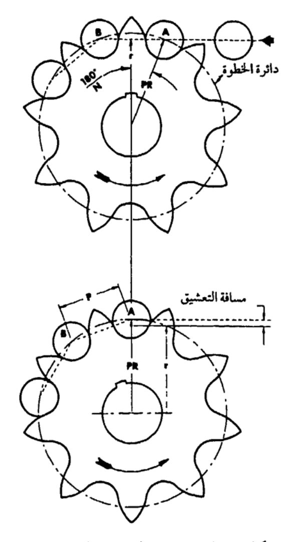
حيث: (C) المسافة المركزية بين العجلتين المسننتين، (N_1) و (N_2) عدد أسنان العجلتين المسننتين.

كينماتية النقل بالجنازير. بما أن العجلة المسننة تكون بالضرورة عبارة عن مضلع متعدد الجوانب وعدد الجوانب يساوي عدد الأسنان أو الخطوات، وبالتالي فإن سرعة الجنزير أو السرعة الزاوية للعجلة المسننة لابد أن تختلف عند ترك الجنزير للعجلة أو اتصاله بها نتيجة فعل التعشيق كما هو موضح في الشكل رقم (٩ ,٣). وتزيد الاختلافات في السرعة بانخفاض عدد الأسنان على العجلة المسننة. نظريًا، فإن عجلة مسننة ذات ١٠ أسنان سوف تعطي تغيراً في حدود ٥٪. وعمليًا، فإن تغيرات السرعة الصغيرة بالإضافة إلى صدمات الحمل المفاجئة تميل إلى أن تمتص أو تخمد بواسطة المرونة الطبيعية للجنزير والتأثير المتسلسل للجانب القائد. على الرغم من أن العجلات المسننة بعدد أسنان أقل من ٦ هي المتوفرة، فلايوصى بالحجم الأقل من ١٧ أو ١٨ سنة للسرعات العالية للتشغيل. يعطى التغير في سرعة التعشيق عن طريق:

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\pi}{N}\left(\frac{1}{\sin(180/N)} - \frac{1}{\tan(180/N)}\right) \qquad (٣ ,٢٥)$$

حيث تكون سرعة الجنزير ($v = N P n$) و (n) هي السرعة الزاوية، لفة/ث.

تصميم نواقل الحركة بالجنازير. تتحدد سعة التحميل للجنزير عادة على أساس معدل التآكل وليس بناء على أقصى جهد. ولأن التآكل يحدث أساسًا بسبب الاحتكاك بالعجلات المسننة عندما يتصل الجنزير معها أو يتركها، فإن معدل التآكل يكون كبيراً في الجنازير الصغيرة مقارنة بالجنازير الكبيرة. يتناسب معدل التآكل طرديًا مع سرعة الجنزير وعكسيًا مع طوله. وعندما يحدث التآكل، يزيد طول الخطوة ويتعلق الجنزير على العجلات المسننة على مسافة خارج السن. وبالتالي فعندما يزداد عدد الأسنان في عجلة مسننة، يقل الوقت الذي يمكن للعجلات المسننة بعده أن تتعلق بالأسنان. ولهذا السبب، يجب ألا تتجاوز نسبة السرعة ١٠ إلى ١ للجنزير الأسطواني ذي الخطوة القياسية، ومن ٦ إلى ١ للجنازير الأخرى.



شكل ٣,٩. فعل التعشيق للجنزير.

(عن : Chains for Power Transmission
and Material Handling, by permission of the American Chain Association, Rockville, MD)

ومجالات القدرة المقدرة في الكتيبات المنشورة عن الجنازير تكون لعمر خدمة طويل نسبيًا في التطبيقات الصناعية. وكما في تصميم السير الذي على شكل حرف (V)، فإن متطلبات القدرة الفعلية التي يجب أن تنقل بواسطة الجنازير تعادل حاصل ضرب هذه القدرة المطلوبة في معامل خدمة مناسب للحصول على قدرة التصميم. وبسبب متطلبات العمر الأقصر في المعدات الزراعية مقارنة مع التطبيقات الصناعية

الأخرى، تكون زيادة الأحمال مقبولة إلى حد ما في المعدات الزراعية. وعلى أية حال، فإن الظروف غير الملائمة التي تعمل فيها المعدات الزراعية قد تؤثر في عمر الخدمة.

وقد يتم أحيانًا اختيار الجنازير للنقل بالسرعات البطيئة جداً على أساس أقصى جهد وليس على أساس معدل التآكل. في حالة الجنازير الأسطوانية، فإن النسب القصوى الموصى بها لحمل التشغيل إلى أقصى جهد في حدود ٢, ٠ عند ١٣, ٠ م/ث إلى ١, ٠ عند ١,٣ م/ث. ويحدث تركيز في الجهود في بعض النقاط في الجنازير التقليدية أو ذات الحلقات الصلب، وقد تؤدي هذه الجهود إلى كسر مبكر نتيجة التعب إذا ما تم التحميل بأكثر من ١٠ ٪ من أقصى إجهاد لها. ويمكن حساب الشد المطلوب لقدرة معينة عند سرعة معينة من المعادلة رقم (١٩, ٣). وتفرض (T_2) على أنها تساوي صفراً، حيث إن الجنزير يجب أن يعمل بدون شد في الجانب المرتخي. وسرعة الجنزير بالمتر لكل ثانية = (خطوة الجنزير، م/ ١٠٠٠) × عدد الأسنان على العجلة المسننة) × (سرعة دوران العجلة المسننة، لفة/ دقيقة/ ٦٠).

وبصفة عامة، يشتمل تصميم وسيلة نقل الحركة بالجنازير على الخطوات التالية:

- **القدرة التصميمية**. يتم اختيار معامل خدمة على أساس نوع مصدر القدرة وطبيعة الحمل لحساب القدرة التصميمية. يعطي الجدول رقم (٥, ٣) القيم الموصى بها لمعاملات الخدمة. تحسب القدرة التصميمية بضرب القدرة المنقولة في معامل الخدمة.
- **الاختيار المبدئي للجنزير**. بمجرد إيجادالقدرة التصميمية، يتم اختيار خطوة الجنزير على أساس الشكل رقم (١٠, ٣).
- **اختيار العجلة المسننة الصغرى**. العجلة المسننة المختارة يجب أن تكون كبيرة بدرجة كافية لتتسع للعمود. ولسرعة معينة للجنزيروقدرة معروفة فإن تأثير زيادة عدد الأسنان على العجلة المسننة يؤدي إلى زيادة السرعة الخطية للجنزير وتقليل الشد وأيضًا تقليل فعل التعشيق. ونحصل على هذه النتيجة في التشغيل الهادي ذي التأثير الأقل.
- **اختيار العجلة المسننة الكبرى**. بعد اختيار العجلة المسننة الصغرى،

تستخدم نسبة السرعة المطلوبة لحساب عدد الأسنان على العجلة الكبرى. ومن الموصى به ألا تستخدم نسب السرعة الأكبر من ١٠ إلى ١ في حالة الناقل الفردي.

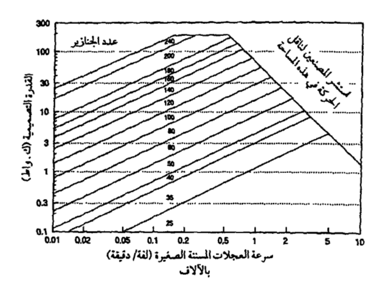
ـ **حساب طول الجنزير والمسافة المركزية**. يمثل طول الجنزير دالة لعدد الأسنان على كل من العجلات المسننة والمسافة المركزية. ويكون من المفضل أن يتكون الجنزير من عدد زوجي من الخطوات لكي يتجنب انحراف الوصلة الجانبية. وتعتمد المسافة المركزية على المتطلبات الطبيعية للتطبيق. يحسب طول الجنزير باستخدام المعادلة المعطاة سابقًا.

جدول ٣,٥. معاملات الخدمة للجنازير الأسطوانية.

نوع الحمل المقاد	محرك احتراق داخلي ذو ناقل هيدرولي	محرك كهربائي أو تربيني	محرك احتراق داخلي ذو ناقل آلي
	نوع القدرة الداخلة		
ناعم	١,٠	١,٠	١,٢
متوسط الصدمة	١,٢	١,٣	١,٤
ثقيل الصدمة	١,٤	١,٥	١,٧

٣,١,٣ الإدارة بأعمدة مأخذ القدرة

يوفر عمود مأخذ القدرة (PTO) وسيلة لنقل القدرة الدورانية إلى المعدات المتصلة بالجرار. يكون الموقع الشائع لعمود مأخذ القدرة خلف الجرار، انظر الشكل رقم (٣,١١)، لكن بعض الجرارات لها أعمدة مآخذ قدرة إضافية في أماكن أخرى. وقد وضعت الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين عام ١٩٢٦م مواصفات قياسية لاتجاه الدوران، سرعة الدوران، المكان المحدد، والأبعاد الحقيقية لعمود مأخذ

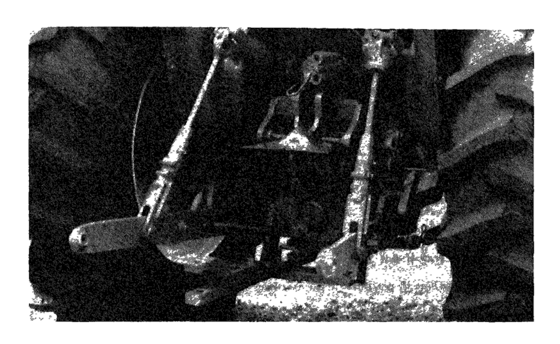


شكل ١٠ ,٣.   خريطة اختيار خطوة الجنزير الأسطواني.

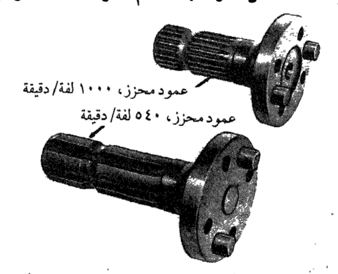
(عن: Chains for Power Transmission
and Material Handling, by permission of the American Chain Association, Rockville, MD)

القدرة، وذلك لإعطاء المقدرة على التبادل بين المعدات لمختلف المصانع. ومع زيادة حجم الجرارات، أصبح من الضروري تطوير عمود مأخذ القدرة ليصبح أسرع وأكبر لكي يستطيع نقل القدرة المتاحة المتزايدة. ويوجد الآن ثلاثة أنواع قياسية من أعمدة مأخذ القدرة. يوضح الشكل رقم (١٢ ,٣) أعمدة مآخذ قدرة خلفية ذات قطر ٣٥ م وسرعات قياسية ٥٤٠ لفة/ دقيقة، ١٠٠٠ لفة/ دقيقة. يستخدم العمود ذو السرعة القياسية ٥٤٠ لفة/ دقيقة مع الجرارات التي لاتزيد القدرة على عمود مأخذ قدرتها عن ٦٥ كيلوواط، أما العمود ذو القطر ٣٥م مع السرعة القياسية ١٠٠٠ لفة/ دقيقة، فيستخدم مع الجرارات التي لها قدرة على عمود مأخذ القدرة تتراوح من ٤٥ إلى ١٢٠ كيلوواط. لاحظ تداخل القدرة، بمعنى أن الجرارات ذات القدرة من ٤٥ إلى ٦٥ كيلوواط يمكن أن تشبك مع أي من الأعمدة الموضحة في الشكل رقم (١٢ ,٣). والعمود ذو القطر ٤٥ م مع السرعة القياسية ١٠٠٠ لفة/ دقيقة غير موضح في الشكل رقم (١٢ ,٣)، وهو يشبه الأعمدة ذات السرعة القياسية ١٠٠٠ لفة/ دقيقة في المظهر فيما عدا أن قطره يكون أكبر وعدد المشقبيات عليه ٢٠ بدلاً من

٢١ . ويستخدم هذا العمود مع الجرارات ذات القدرة ١١٠ إلى ١٩٠ كيلوواط على عمود مأخذ القدرة. بعض الجرارات الكبيرة ذات الدفع الرباعي لاتحتوي على عمود مأخذ القدرة.



شكل ٣,١١. نقل الحركة باستخدام عمود مأخذ القدرة بالجرار.



شكل ٣,١٢. مشقبيات لأعمدة مأخذ القدرة ذات السرعات ٥٤٠ و١٠٠٠ لفة/ دقيقة. (عن: Deer and Co.)

في بداية معرفة عمود مأخذ القدرة كان العمود يأخذ حركته عن طريق أجهزة نقل الحركة في الجرار ويفصل عندما يفصل القابض. التطبيقات العملية القياسية الحالية توفر عمود مأخذ قدرة مستقلاً والذي يمكن التحكم فيه عن طريق قابض منفصل خاص به. يوضح الشكل رقم (١٣ ,٣) الأنواع الأكثر شيوعًا من الوصلات المستخدمة لنقل القدرة من عمود مأخذ القدرة إلى الآلة. والذي يتضمن وصلتي كردان، يكون العمود الواصل بينهما تلسكوبيًا ليسمح بتغيير الزاوية والمسافة بين المعدة والجرار. يوجد حول العمود وكل وصلة غطاء كامل. يدور هذا الغطاء عادة مع العمود ولكن يمكنه التوقف إذا تلامس مع شخص أو أي جسم آخر، يعمل الكردان المفرد على حدوث تذبذبات في خط الدوران عندما يعمل بزاوية، كما هو موضح في الشكل رقم (١٤ ,٣). بُني المنحنى المبين في الشكل رقم (١٢ ,٣) على أساس المعادلة التالية:

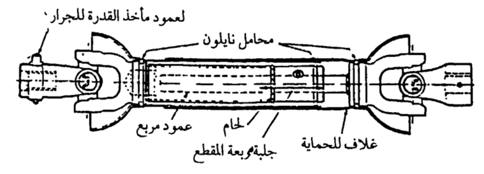
$$\tan(\phi_{jo}) = \cos(\alpha)\tan(\phi_{ji}) \qquad (٣,٢٦)$$

حيث:

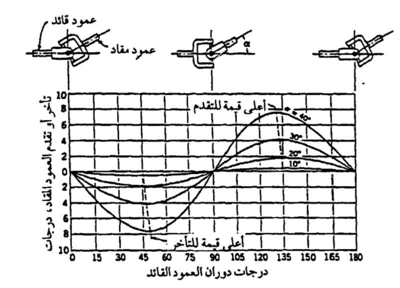
ϕ_{ji} = الإزاحة الزاوية لوصلة عمود الدخول، ز

ϕ_{jo} = الإزاحة الزاوية لوحدة عمود الخروج، ز

α = زاوية الوصلة، انظر الشكل رقم (١٤ ,٣).



شكل ١٣ ,٣. عمود مأخذ القدرة التلسكوبي مع غلاف أمان متكامل.
(عن: Neapco Products, Inc.)



شكل ٣,١٤. التقدم أو التأخر لعمود يدار بوصلة كردان جامعة بالنسبة لوضع دوران العمود القائد.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978.)

وتصبح العلاقة بين سرعات العمود:

$$\frac{n_{jo}}{n_{ji}} = \frac{\cos(\alpha)}{1 - \sin^2(\alpha)\sin^2(\phi_{ji})} \quad (٣,٢٧)$$

حيث (n_{ji}) و (n_{jo}) سرعات وصلة أعمدة الدخول والخروج (لفة/ دقيقة) على الترتيب. عند توصيل وصلتي كردان على التوالي، كما هو موضح في الشكل رقم (٣,١٣)، فسوف تتلاشى تذبذبات السرعة إذا تساوت زوايا الوصلات وكانت ٩٠° خارج الوجه. يتم التوجيه الصحيح عندما تكون الروابط متصلة مع نهايتي العمود الأوسط على نفس الخط لكل منها. لذا تتلاشى تذبذبات سرعة عمود الدخول ولكن لاتتلاشى في العمود الأوسط. الوصلات التي تعطي سرعة ثابتة، مثل وصلة بندكس-ويزس، يمكنها نقل قدرة من خلال زاوية بدون وجود تذبذبات سرعة لوصلة الكردان. وعلى الرغم من أن وصلات بندكس-ويزس تنقل العزم أكثر سهولة، لكنها لاتكون مناسبة تمامًا للمستويات الكبيرة من العزوم والتي تحدث غالبًا في المعدات الزراعية.

أوضحت الاختبارات التجريبية أن القيمة العظمى للعزوم في خط الإدارة لعمود مأخذ القدرة بعيدة جداً عن العزوم المتوسطة. لذا تصمم خطوط الإدارة على أساس إجهادات التعب المتولدة للقمم المتكررة من العزوم. تتمثل إحدى التقنيات المستخدمة لتقليل إجهادات التعب في تحديد زوايا الوصلات المواجهة أثناء التشغيل العادي عندما لايكون الجرار والآلة في منحنى دوران.

٤,١,٣ وسائل الأمان للأحمال الزائدة

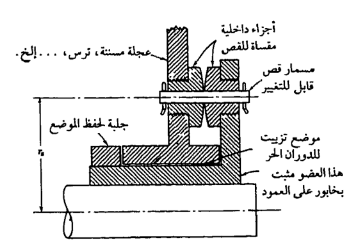
في العديد من الآلات الزراعية، يكون هناك مصدر واحد للقدرة يقوم بتشغيل أجزاء متعددة تختلف اختلافًا واسعًا في مقدار القدرة اللازمة لها والتي قد تتعرض إلى أحمال زائدة بدرجات متفاوتة. ففي هذه الأنظمة تعتبر الحماية من الأحمال الزائدة ضرورة، وبالأخص بالنسبة للأجزاء التي تعمل على سرعات منخفضة. وهناك ثلاثة أنواع من وسائل الأمان التي تعتبر شائعة الاستعمال في نظم الحركة الدورانية وهي:

- تلك التي تعتمد على قص وصلة يمكن تغييرها في مجموعة نقل الحركة.
- وحدات تقوم فيها قوة زنبرك بضغط وحدتين من الأجزاء ذات الأسطح المعرجة مع بعضها، باستخدام أساسيات المستويات المائلة.
- وسائل تعتمد كلية على الاحتكاك.

أجهزة القص. تعتبر هذه الأجهزة بسيطة ورخيصة نوعًا ما، ولكن لابد من تغيير الجزء الذي يتعرض للقص كلما حدث تحميل زائد. لذلك تستخدم هذه الأجهزة عادة عندما يكون التحميل الزائد غير متكرر بكثرة. يمكن تصميم وسائل القص لأي معدل تحميل مطلوب، على الرغم من أن مسمار التحميل قد يكون ذا سمك صغير جداً في حالة معدلات العزوم الصغيرة إذا لم يتم اختيار معدن ذي مقاومة قص صغيرة. والنماذج المختلفة لأجهزة القص هي:

- مسمار قص بين العمود والصرة (عادة مسمار من النحاس مستدق المحور).
- مسمار قص قطري خلال الصرة والعمود (يعطي قصًا مزدوجًا).
- مسمار قص مثبت على شفة، وفي هذه الحالة يكون المسمار موازيًا للعمود،

كما هو موضح في الشكل رقم (١٥ , ٣).



شكل ٣,١٥. ترتيب لمسمار قص مثبت على شفة تركيب. يمكن حذف الأجزاء الداخلية للقص، وخاصة إذا كان من المتوقع حدوث أحمال زائدة بصورة متكررة فقط أو إذا استخدمت مسامير ذات أعناق عند نهايتها.

(**عن : Principles of Farm Machinery, Kepner et al>, 1978.**)

بصرف النظر عن نوع النموذج، فإن الأساس هو أن الجزءين القائد والمقاد دوران بحرية بمعزل عن بعضهما بعد حدوث القص في المسمار. وعادة تحدث في ل من النوعين الأول والثاني، خدوش تخلفها آثار الجزء المقصوص. وقد يكون مروريًا تحريك الصرة عن العمود وإحلال مسمار القص فيمكن إرجاع الوصلة إلى اكانت عليه في النوع الأول.

ومسمار القص المركب على شفة تركيب هو أبسطها في إعادة التركيب، ولكن عر الوحدة أكبر من وحدة مسمار القص القطري، وكذلك فهو غير مهيأ للعزوم صغيرة لِكبر نصف القطر الموجود عليه قطاع القص. ولفرض الاختبارات تجريبية، يمكن تغيير موضع المسمار إلى أسفل أو على أنصاف أقطار مختلفة لتغير حمل الذي يمكن حدوث القص عنده. وفي الوحدات المنتجة، من المرغوب أن ون مسماراً بالحجم الكامل ومن مادة عادية (مثل صلب مدرفل على الساخن)، لك ليسهل على عامل التشغيل تغييره.

وتعطي المعادلتان التاليتان العزم الذي يتم عنده انهيار مسمار القص في الشفة والقدرة:

(٣, ٢٨)
$$T = r_s \left(\frac{\pi}{4} d_1^2 \ S_s\right) * \ 10^{-3}$$

(٣, ٢٩)
$$k\,W = \frac{2 \pi N T}{60{,}000} = 8.225 \ N r_s \ d_1^2 \ S_s \ * \ 10^{-8}$$

حيث:

T = العزم، نيوتن.م

N = سرعة العمود، لفة/ دقيقة

r_s = المسافة بين مركزي العمود ومسمار القص، الشكل رقم (١٥ , ٣)، م

d_1 = قطر مسمار القص عند موضع القص، م

S_s = أقصى جهد قص يتحمله مسمار القص، ميجابسكال.

وبنفس الطريقة، سوف يتم كسر مسمار القص القطري (قص مزدوج) عندما:

(٣, ٣٠)
$$k\,W = 8.225 \ N \, D \, d_1^2 \ S_s \ * \ 10^{-8}$$

حيث:

D = قطر العمود (القطر الذي يحدث عنده القص)، م.

القابض القافز. يتكون القابض القافز من فكين مستديرين ذوي تعرجات متماسكة مع بعضها البعض بواسطة زنبرك يمكن ضبطه. في الشكل رقم (١٦ , ٣)، الجزء (أ) موصل بمسمار مع العمود والجزء (ب)، العضو القائد، حر الحركة على المحور عندما يحدث التحميل الزائد. والعزم الزائد الذي يلزم لإدارة الجزء (ب)

بالنسبة للجزء (أ) ويؤدي إلى قفزة هو دالة في ميل الأوجه المعرجة على الفك، ومعامل الاحتكاك بين الفكين، ونصف القطر المؤثر من مركز العمود إلى مساحة التلامس، والقوة اللازمة لضغط الزنبرك والسماح بالحركة المحورية للجزء (ب) بالنسبة للجزء (أ).



شكل ٣,١٦. ترتيب نموذجي للقابض القافز.

(عن : Principles of Farm Machinery, Kepner et al>, 1978.)

ويجب أن يكون للزنبرك مسافة متاحة وكافية بحيث لايكون منضغطًا إلى آخر درجة حتى يمكن للفكين الابتعاد عن بعضهما البعض بمسافة كافية للقفز. وبالرغم من أن الاحتكاك بين الفكين يؤثر على قيمة العزم المطلوب للقفز، إلا أن الوحدة سوف تعمل حتى إذا كان معامل الاحتكاك بين الوجهين يساوي صفراً (عند عزم منخفض).

ونتيجة لعودة قابض القفز إلى العمل آليًا بعد زوال الحمل الزائد، فإن تصميمه يعتبر أنسب من جهاز القص في الآليات التي يتوقع أن تحدث فيها أحمال زائدة متكررة بكثرة. ولن يكون هناك انزلاق حتى يزيد الحمل على الحمل المثبت عليه القابض، وبالتالي يكون ذلك تحذيراً للعامل من أن هناك حملاً زائدًا قد يحدث. ويعتبر القائد القافز أغلى ثمنًا مقارنة مع جهاز القص، وهو غير مناسب للأحمال الكبيرة وذلك نتيجة لكبر حجمه المطلوب في مثل هذه الحالات. وعندما يحدث القفز، فإنه يخلق حملاً مفاجئًا مرتفعًا على أجهزة نقل الحركة.

إن قيمة وتغير قوة الاحتكاك المطلوبة لعمل انزلاق محوري للأجزاء على مضها البعض يمكن أن تكون ذات أهمية كبيرة على العزم المطلوب لإحداث القفزة. لتقليل الاحتكاك المحوري إلى أدنى حد له، فلابد أن يتم توصيل العزم من وإلى

الأجزاء المتحركة بنصف قطر كبير نسبيًا، سواء كان ذلك من عجلة مسننة أم من بكرة بدلاً من مسمار توصيل أو لسان على العمود.

أجهزة الاحتكاك. يمكن أن تعمل السيور المصممة بعناية كوسيلة أمان عن طريق الاحتكاك بالرغم من تأثر أدائها بالتغيرات في الشد الواقع عليها والزيادة في معامل الاحتكاك كلما زادت نسبة انزلاق السير. ويكون الأداء أكثر ثباتًا عند استخدام طارات شدادة محملة زنبركيًا مقارنة بالتشغيل عند ضبط ثابت.

كثيراً مايستخدم القابض أحادي القرص الذي يحتوي على سطحين للاحتكاك مثل القابض الموجود في الجرارات أو المركبات للحماية من التحميل الزائد. ويضبط ضغط الزنبرك لنقل الأحمال العادية ولكن يحدث الانزلاق تحت الأحمال غير العادية. وبالمقارنة بالقوابض القافزة، يكون لقوابض الأمان التي تعمل بالاحتكاك مميزات مثل الفصل عند عزم ثابت، كما أنها لاتلحق أضراراً بالأجزاء أثناء الانزلاق. ومع ذلك فقد أوضحت الاختبارات أن سعة العزوم اللحظية للأحمال الديناميكية تحت تحميل مفاجيء تعادل من مثلي إلى ثلاثة أمثال القيمة في حالة الأحمال الساكنة.

يكون قابض الاحتكاك فعالاً جداً في حماية الأجزاء القائدة من الترددات الكبيرة للقيم العظمى للعزوم، ولكن تحت ظروف معينة يمكن حدوث انزلاق في قابض الاحتكاك ويكون بقدر كاف لرفع درجة حرارة الأجزاء الموجودة بدون علم العامل أن هناك تحميلاً زائداً.

٢,٣ قدرة الموائع

٣,٢,١ المبادىء الأساسية وعناصر قدرة الموائع

عندما انتشر استخدام منظومات القدرة الهيدرولية في المعدات الزراعية في الأربعينيات، لم يعد بالضرورة أن يكون مشغلو المعدات الزراعية مؤهلين للقيام بالمجهود العضلي. فالقدرة الهيدرولية تسمح برفع وخفض المعدات الزراعية بأقل

مجهود عضلي. يمكن أيضًا نقل القدرة الهيدرولية إلى أماكن يمكن التحكم فيها عن بعد أكثر من القدرة الآلية التقليدية. لفهم دوائر القدرة الهيدرولية لابد من الأخذ في الاعتبار خمسة مبادىء أساسية هامة هي: (أ) أن السوائل ليس لها شكل ولكن يمكنها السريان لتناسب شكل الوعاء الذي يحتويها، (ب)السوائل هي موائع غير قابلة للانضغاط عند الضغط المستخدم في نظم القدرة الهيدرولية، (جـ) تنقل السوائل الضغط بالتساوي في جميع الاتجاهات، (د) معدل السريان من المضخات موجبة الإزاحة يتناسب مع سرعة المضخة لكنه في الواقع لايكون مستقلاً عن ضغط المنظومة، (هـ) أي سريان لسائل خلال أنبوب أو فتحة ينتج عنه انخفاض في ضغطه.

تتضمن نظم القدرة الهيدرولية على الأقل، خزان، مضخة أو أكثر لتحويل القدرة الآلية إلى قدرة هيدرولية، واحد أو أكثر من صمامات التحكم، واحد أو أكثر من المشغلات لتحويل القدرة الهيدرولية إلى قدرة آلية، وصلات لتوصيل مختلف الأجزاء مع بعضها، ومرشحات لإزالة الملوثات من الزيت. كل من هذه المكونات سوف تناقش، بالإضافة إلى أنواع الدوائر التي يمكن استخدام هذه المكونات فيها.

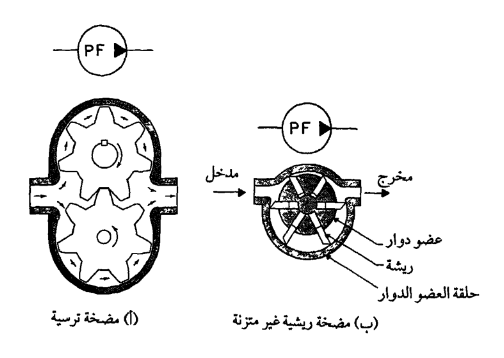
يستهلك إعداد الرسوم الفيزيائية لكثير من مكونات نظم القدرة الهيدرولية ـِقتًا كبيراً، ولاتكون مثل تلك الرسوم ضرورية لفهم عمل المنظومة. لذا، فإن مؤتمر لصناعة الموحد (JIC) لصناعة القدرة الهيدرولية وضع رموزاً لتعريف مكونات القدرة لهيدرولية. تم تلخيص رموز المؤتمر في الملحق (ب). وجاءت رموز مؤتمر الصناعة لموحد مماثلة للرموز الكهربائية، ولقد بسطت هذه الرموز رسوم دوائر القدرة لهيدرولية بنفس الطريقة التي بسطت بها الرموز الكهربائية رسوم الدوائر الكهربائية. ـم اختيار شكل كل رمز من رموز مؤتمر الصناعة الموحد ليشرح نفسه قدر الإمكان ـتستطيع التعرف عليه وعلى استخدامه بسرعة. قد تستخدم الرسوم الفيزيائية لشرح ـعض مكونات القدرة الهيدرولية في هذا الفصل، وسوف يوضح أيضًا رمز مؤتمر ـصناعة الموحد المقابل.

٣,٢,٠ المضخات

المضخة هي قلب أي نظام هيدرولي للقدرة، فهي تحول القدرة الآلية إلى قدرة

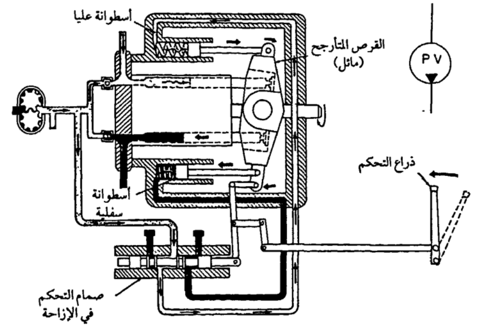
هيدروليـة . والمضخات موجبة الإزاحة هي التي تستخدم فقط في أنظمة القدرة الهيدروليـة ، لذا يكون تصرف المضخة مستقلاً تقريبًا عن الضغط عند الفتحات الخارجية للمضخة . الأنواع الثلاثة الأساسية للمضخات المستخدمة في أنظمة القدرة الهيدروليـة هي : المضخات الترسية ، المضخات المروحية ، والمضخات الكباسية .

يوضح الشكل رقم (١٧ , ٣) مخططًا بيانيًا للمضخات المروحية والترسية . إزاحة تلك المضخات عبارة عن الكمية النظرية من السائل الذي يندفع من فتحات الدخول إلى فتحات الخروج في لفة واحدة من عمود المضخة . حيث يحمل السائل في فراغ أسنان المضخة الترسية لكن الزيت يمنع تعشيق التروس من عمل دورة كاملة ، لذلك يدفع الزيت إلى فتحة الخروج . وبنفس الطريقة ، يحمل الزيت في الفراغات بين المروحة المنزلقة في المضخات المروحية . كلٌ من المضخة الترسية والمضخة المروحية لها إزاحة ثابتة بمعنى أن الإزاحة لا يمكن أن تتغير بعد أن يتم تصنيع المضخة .



شكل ١٧ , ٣. المضخات ذات الإزاحة الثابتة.

تتوفر كل من المضخات الكباسية المحورية، الشكل رقم (١٨ , ٣) والمضخات الكباسية نصف القطرية، الشكل رقم (١٩ , ٣). فالأولى لها كباسات متوازية لعمود المضخة بينما الأخرى لها كباسات مرتبة نصف قطريًا بالنسبة للعمود. المضخات الكباسية في الشكلين رقمي (١٨ , ٣) و(١٩ , ٣) لهما إزاحة متغيرة لكن يمكن تصميم المضخات الكباسية لتعطي إزاحة ثابتة.



شكل ١٨ , ٣. مضخة محورية كباسية ذات إزاحة متغيرة. (عن: Deere &Co.)

يمكن حساب الزيت المتصرف من المضخة باستخدام المعادلة التالية:

$$Q_p = \frac{V_p\ n_p\ \eta_{vp}}{1000} \quad (٣ , ٣١)$$

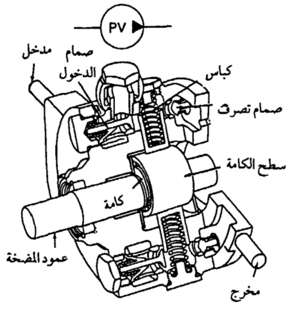
حيث:

Q_p = تصرف المضخة، لتر/ دقيقة

V_p = إزاحة المضخة، سم^٣^/ لفة

n_p = سرعة المضخة، لفة/ دقيقة

η_{vp} = الكفاءة الحجمية للمضخة، كسر عشري.



شكل ٣,١٩. مضخة كباسية قطرية. (عن: Deere & Co.)

بسبب التسريب الداخلي داخل المضخة، فإن الكفاءة الحجمية تكون دائمًا أقل من الواحد، بمعنى أن المضخة تعطي دائمًا تصرفًا أقل من تصرفها النظري. وعمومًا، يتناسب التسريب الداخلي في وحدة هيدرولية مباشرة مع مساحة ممر التسريب وهبوط الضغط عبر ممر التسريب، ويتناسب عكسيًا مع اللزوجة. يعطى تصرف التسريب بالمعادلة التالية:

$$Q_L = \frac{(6 * 10^7)\, C_L\, A\, \Delta p}{\mu} \qquad (٣,٣٢)$$

حيث:

Q_L = تصرف التسريب، لتر/ دقيقة

C_L = ثابت طول التسريب، سم

A = مساحة مقطع ممر التسريب، سم^{٢}

μ = اللزوجة الدينامية للسائل، مللي بسكال. ث

Δp = هبوط الضغط، ميجابسكال.

لذا، يمكن حساب الكفاءة الحجمية كالتالي :

$$\eta_{vp} = \frac{Q_{tp} - Q_L}{Q_{tp}} = 1 - \frac{Q_L}{Q_{tp}} \qquad (٣,٣٣)$$

حيث (Q_{tp}) التصرف النظري للمضخة، ويمكن الحصول عليه من المعادلة رقم (٣,٣١) بوضع(η_{vp}) تساوي ١ .

يمكن حساب العزم اللازم للمضخة من المعادلة رقم (٣,٣٤) كالتالي :

$$T_p = \frac{\Delta p \, V_p}{2 \pi \eta_{tp}} \qquad (٣,٣٤)$$

حيث :

T_p = العزم اللازم لإدارة المضخة، نيوتن . م

Δp = ارتفاع الضغط عبر المضخة، ميجابسكال

η_{tp} = كفاءة عزم المضخة، كسر عشري .

ونتيجة للاحتكاك داخل المضخة، تكون كفاءة العزم غالبًا أقل من الواحد، والعزم اللازم لإدارة المضخة أكبر من القيمة النظرية. وعزم الاحتكاك (T_{fp}) هو مقدار العزم المطلوب للتغلب على الاحتكاك داخل المضخة. ويعطى عزم الاحتكاك بـ:

$$T_{fp} = \frac{2 \pi C_f \mu n_p}{6 * 10^{10}} \qquad (٣,٣٥)$$

حيث (C_f) = ثابت (سم^٣). يسمى عزم الاحتكاك عزم التضاؤل حيث إنه يتناسب مع سرعة العمود. ويوجد أيضًا عزم إحتكاك إضافي نتيجة إحكامات العمود (لمنع التسرب). يمكن حساب كفاءة العزم كالتالي :

$$\eta_{tp} = \frac{T_{tp}}{T_{tp} + T_{fp}} = \left(1 + \frac{T_{fp}}{T_{tp}}\right)^{-1} \qquad (٣,٣٦)$$

حيث (T_{tp}) هي العزم النظري ويمكن حسابه من المعادلة رقم (٣,٣٤) بوضع (η_{tp}) تساوي الواحد.

يمكن حساب القدرة الهيدرولية المنتجة بواسطة المضخة باستخدام المعادلة التالية:

$$P_{fl} = \frac{Q_p \, \Delta p}{60} \quad (٣,٣٧)$$

حيث (P_{fl}) القدرة الهيدرولية، كيلوواط. ويمكن حساب قدرة العمود اللازمة لإدارة المضخة من المعادلة التالية:

$$P_{sp} = \frac{P_{fl}}{\eta_{pp}} \quad (٣,٣٨)$$

حيث:

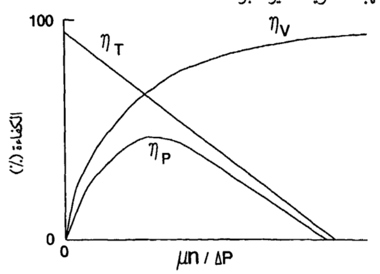
P_{sp} = قدرة العمود اللازمة لإدارة المضخة، كيلوواط

$\eta_{pp} = (\eta_{vp} * \eta_{tp})$ = كفاءة القدرة للمضخة.

حيث إن (η_{vp}) و(η_{tp}) أقل من الواحد الصحيح، فإن (η_{pp}) أيضًا تكون أقل من لواحد وأكبر من القدرة النظرية المطلوبة لإدارة المضخة.

تتفاوت كفاءات المضخة حسب ظروف التشغيل، كما هو موضح في الشكل قم (٣,٢٠). يزداد التسريب الداخلي في المضخة مع (D_p)، وعندما تصل سرعة لمضخة إلى الصفر، فإن التصرف النظري الكلي يستطيع التسرب راجعًا إلى المدخل تصبح (η_{vp}) صفراً. وعندما تزاد سرعة المضخة، يصبح التسريب الداخلي قليلاً النسبة للتصرف النظري وتصل (η_{vp}) إلى قيمتها القصوى. يستخدم جزء من عزم عمود للتغلب على الاحتكاك الذي يوجد غالبًا في المضخة، عند هبوط كبير في ضغط، يكون عزم الاحتكاك هذا صغيراً نسبيًا بالمقارنة مع العزم النظري المطلوب تصبح (η_{tp}) عند القيمة القصوى لها. وعلى العكس من ذلك، عند هبوط بسيط في

الضغط، يقل عزم الاحتكاك و تصل قيمة (η_{tp}) إلى الصفر. وحيث إن (η_{pp}) هي حاصل ضرب (η_{vp}) في (η_{tp})، لذا فإن شكل المنحنى المبين في الشكل رقم (٣,٢٠) يعرف على أنه منحنيات العزم والكفاءة الحجمية. يوضح الشكل رقم (٣,٢٠) أن المضخة يجب أن تعمل داخل الحدود المناسبة من السرعة والضغط أو أن كفاءة القدرة لها سوف تهبط لمستويات غير مقبولة.



شكل ٣,٢٠. كفاءات العزم والحجم والقدرة.

٣,٢,٣ الصمامات

تستخدم الصمامات في نظم القدرة الهيدرولية للتحكم في الضغط، والحجم، واتجاه السريان. وتصنف الصمامات، وفقًا لذلك إلى صمامات التحكم في الضغط (PCV)، وصمامات التحكم في الحجم (VCV)، وصمامات التحكم في الاتجاه (DCV).

صمامات التحكم في الضغط. تمر السوائل خلال فتحات في صمامات التحكم، مؤدية إلى هبوط في الضغط. تربط المعادلة رقم (٣,٣٩) الهبوط في الضغط عبر الفتحة بالتصرف المار من خلالها:

$$Q = 60\, C_o\, A_o \sqrt{\frac{2\,\Delta p}{\rho_f}} \qquad (٣,٣٩)$$

حيث :

Q = التصرف خلال الفتحة، لتر/ دقيقة

C_o = معامل الفتحة، ليس له وحدات

A_o = مساحة الفتحة، م^2

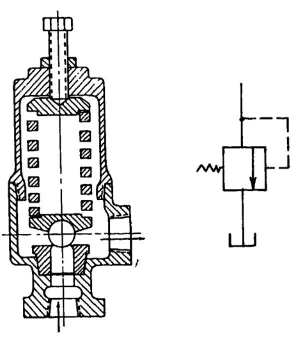
Δp = هبوط الضغط خلال الفتحة، ميجابسكال

ρ_f = كثافة السائل، كجم/ م^3.

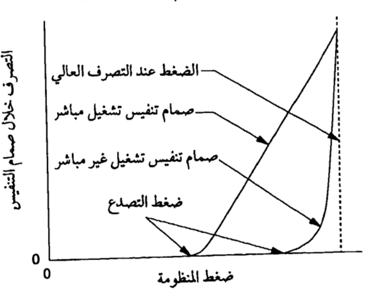
في الحالة العادية حيث تكون (A_o) أصغر من قناة التيار المضاد ويكون فيها السريان مضطربًا، (C_o) = ٠,٦٠ للفتحات ذات الحافة الحادة، ولكن من الممكن أن ترتفع إلى أكثر من ٠,٨٠ إذا كانت حواف الفتحة دائرية. يكون لشكل الفتحة تأثير قليل، بمعنى أن (C_o) سوف تكون بنفس القيمة تقريبًا للفتحات الطويلة الضيقة كما للفتحة الدائرية. وللسوائل النموذجية ذات الأساس البترولي المستخدمة في أنظمة القدرة الهيدرولية، تتراوح (ρ_f) من ٨٥٠ إلى ٩٥٠ كجم/ م^3.

النوع الشائع جداً من صمامات التحكم في الضغط هو صمام التنفيس. تغلق صمامات التنفيس أثناء التشغيل العادي، ولكنها تفتح عند ضغط معين لتصريف السائل إلى الخزان. لذا تحافظ صمامات التنفيس على مستوى الضغط في الدائرة عند حد الأمان. ولأن صمامات التنفيس ذات التشغيل المباشر، الشكل رقم (٣,٢١) يكون لها مدى واسع من ضغوط التشغيل، الشكل رقم (٣,٢٢)، فإن صمامات التنفيس الدليلية تستخدم أحيانًا، الشكل رقم (٣,٢٣). تحتوي الصمامات الدليلية على زنبرك خفيف يسمح لصمام التنفيس الدليلي، انظر النقاط ٣، ٤ في الشكل رقم (٣,٢٣)، بأن يفتح عند ضغط التصدع المطلوب. السريان الناتج والذي يمر خلال الفتحة في مكبس الصمام يسبب هبوطًا في الضغط، انظر المعادلة رقم (٣,٣٩)، والذي يرفع المكبس، وهكذا يفتح صمام التنفيس الرئيس. ضغط التجاوز، وهو ضغط السريان الكامل مطروحًا منه ضغط التصدع، يكون أقل كثيراً في صمام التنفيس ذي التشغيل الدليلي عنه في صمام التنفيس ذي التشغيل المباشر. لاحظ أن صمام التنفيس ذا التشغيل المباشر يصنف على أنه صمام ذو اتجاهين، بمعنى أنه يحتوي

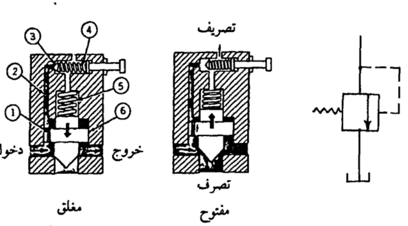
على مخرجين للتوصيل مع دوائر القدرة الهيدرولية. يصنف صمام التنفيس ذو دليل التشغيل على أنه صمام ذو ثلاثة اتجاهات إذا لم يكن الصرف متصلاً داخليًا إلى مخرج التصرف.



شكل ٣,٢١. صمام تنفيس تشغيل مباشر.



شكل ٣,٢٢. تجاوز الضغط في صمام التنفيس.

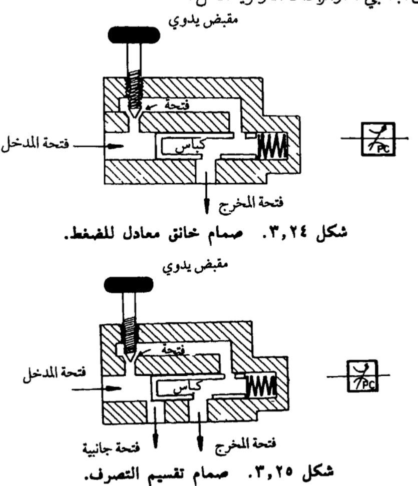


شكل ٣,٢٣. صمام التنفيس ذو التشغيل الدليلي.

صمامات التحكم في الحجم. النوعان الأكثر انتشاراً من الصمامات نوع (VCVs) هما صمام الخنق، الشكل رقم (٣,٢٤) وصمام تقسيم التصرف، الشكل رقم (٣,٢٥). والغرض من كلا الصمامين هو تنظيم التصرف الخارج بغض النظر عن ضغط المنظومة. كل من الصمامين له كباس انزلاقي محمل بزنبرك والغرض منه هو الحفاظ على ثبات الضغط عبر الفتحة، ولذا، وتبعًا للمعادلة رقم (٣,٣٩)، فإنه يحفظ معدل السريان ثابتًا إلى المخرج الخارجي. إذا زاد السريان عبر الفتحة، فإن هبوط الضغط عبر الفتحة سوف يزداد أيضًا تبعًا للمعادلة رقم (٣,٣٩) وسوف ينخفض الضغط داخل الكباس. عدم توازن الضغط عبر رأس الكباس سوف يحرك الكباس إلى اليمين ليغلق فتحة المخرج جزئيًا، وبذلك يقلل التصرف. وبشكل عكسي، إذا قل السريان عبر الفتحة، فإن الكباس الانزلاقي يتحرك إلى اليسار ليصنع فتحة كبيرة عند فتحة المخرج. كل من صمام الخنق وصمام تقسيم التصرف يمثلا صمامات تعويض الضغط، لأنهما يعوضا التغير في جانب الضغط المنخفض آليًا. كل من الصمامين الموضحين له معدل تصرف يمكن ضبطه، بمعنى، أنه يمكن للسائق استعمال المقبض اليدوي لضبط مستوى التصرف المطلوب. وتتوفر أيضًا الصمامات غير القابلة للضبط.

الاختلاف الأساسي بين صمام الخنق وصمام تقسيم التصرف أن الأخير له مخرج ثالث يسمح بالسريان الجانبي ويمكن استخدام صمام الخنق فقط في الأنظمة

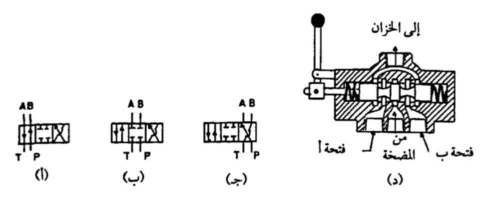
التي يقل فيها تصرف المضخة آليًا عند خنق التصرف. أما في الأنظمة التي تحوي المضخات ذات الإزاحات الثابتة، فيجب أن يعود أي تصرف زائد، ولذا فإن صمامات تقسيم التصرف هي المناسبة في هذه الحالة. يمكن أيضًا استخدام صمام التصرف كصمام تقسيم تصرف بأولوية، بمعنى، توصيل الدوائر ذات الأولوية (على سبيل المثال دوائر التوجيه) إلى فتحة المخرج. ويوجه أي تصرف زائد عبر فتحة المجرى الجانبي للدوائر ذات الأولوية الأقل.



شكل ٣,٢٤. صمام خانق معادل للضغط.

شكل ٣,٢٥. صمام تقسيم التصرف.

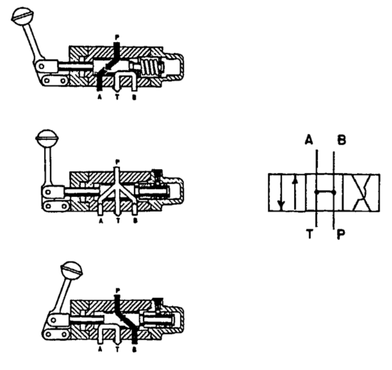
صمامات التحكم في الاتجاه. صمام التحكم في الاتجاه (DCV) موضح في الشكل رقم (٣,٢٦). وهو يحتوي على أربعة فتحات ولذا يصنف على أنه صمام ذو أربعة فتحات. و يمكن تصنيفه أيضًا على أنه صمام ذو ثلاثة مواضع لأن



شكل ٣,٢٦. صمام تحكم في الاتجاه ذو مركز مغلق.

كباس الانزلاقي في الصمام له ثلاثة مواضع ممكنة، يمين، مركز، أو يسار. في شكل رقم (٣,٢٦أ)، يكون الكباس الانزلاقي على اليمين لكي يصل القمة (A) لمضخة) إلى (B) والقمة (T) (للخزان) إلى (A). تعكس هذه الوصلات عندما كون الكباس الانزلاقي إلى اليسار كما هو مبين في الشكل رقم (٣,٢٦جـ). ويمكن صيل مشغل إلى الفتحات (A) و (B)، وبتحريك الكباس الانزلاقي (DCV) يساراً أو ينًا، فإنه يمكن عكس اتجاه حركة المشغل. وعندما يكون الكباس الانزلاقي في ركز، كما هو مبين في الشكل رقم (٣,٢٦ب)، تكون كل المخارج مغلقة، ولذلك صنف الصمام على أنه صمام مركز مغلق، في الدوائر التي يتغير فيها تصرف المضخة يًا ليفي بالمطلوب. في رسوم دائرة القدرة الهيدرولية، توضح صمامات التحكم في لاتجاه بوضع الكباس في المركز للتسهيل، إلا أنه متروك للقارىء أن يتخيل الكباس ي أي أوضاع أخرى.

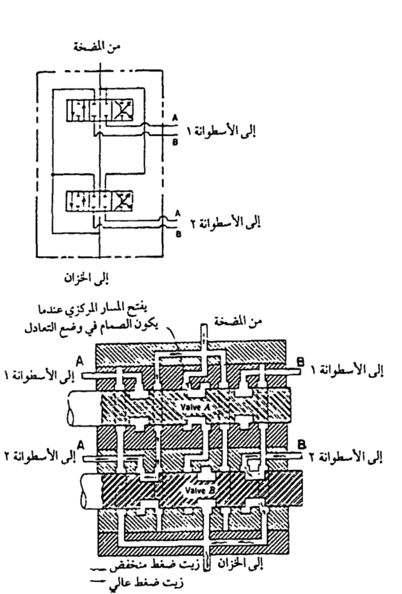
الصمام الموضح في الشكل رقم (٢٧, ٣) هو صمام تحكم في الاتجاه ذو المركز لفتوح ثلاثي المواضع وذو أربع فتحات. ويمكن استخدامه في المضخات ذات لإزاحة الثابتة لأن وجود الكباس في المركز يجعل تصرف المضخة يمر إلى الخزان عبر صمام التحكم في الاتجاه. لاحظ أن، أي مشغل متصل بصمام التحكم في الاتجاه سوف يكون حر الحركة عندما يكون الكباس في المركز. وإذا كان المشغل عبارة عن سطوانة هيدرولية تستخدم في رفع آلة، على سبيل المثال، فسوف تنخفض



شكل ٣,٢٧. صمام تحكم في الاتجاه ذو مركز مفتوح.

الآلة بمجرد وجود الكباس في المركز. ولهذا السبب، يندر استخدام الصمامات ذات المركز المفتوح في الآلات الزراعية. وبدلاً من ذلك، يستخدم صمام التحكم في الاتجاه ذو مركز مترادف إذا احتوى نظام القدرة الهيدرولية على مضخة ذات إزاحة ثابتة. يوضح الشكل رقم (٣,٢٨) صمامًا مزدوجًا ذا مركز مترادف. عندما يكون كل من الكباسين في المركز، تكون فتحات المشغل مغلقة، في حين تكون فتحة المضخة متصلة بفتحة الخزان. وبتحريك الكباس سواءً لليمين أو لليسار، يغلق الاتصال بين المضخة والخزان ويدفع الزيت للتصرف إلى المشغل.

على الرغم من أن رموز مؤتمر الصناعة الموحد (JIC) لاتوحي بذلك، فكل صمامات التحكم في الاتجاه توفر بعض درجات التحكم في التصرف. بتحريك الكباس جزئيًا، إما إلى اليسار أو اليمين، يمكن أن تفتح الفتحة التي بداخل الصمام جزئيًا، وتبعا للمعادلة رقم (٣,٣٩)، يمكن أن تعطي سريانًا جزئيًا إلى المشغل.



شكل ٣,٢٨. صمام تحكم في الاتجاه ذو مركز زوجي مترادف.

(عن : Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978.)

٣,٢,٤ المشغلات

تشتمل المشغلات على محركات هيدرولية لإمدادها بالقدرة الآلية الدورانية ، أسطوانات هيدرولية لإمدادها بالقدرة الميكانيكية الخطية .

المحركات الهيدرولية. تشبه المحركات الهيدرولية المضخات، مع الاحتياطات المناسبة، ويمكن استخدام المضخات الموضحة في الشكل رقم (٣, ١٧) أيضًا كمحركات. لمنع التلف الناشىء عن التسرب، فإن حلقات موانع التسرب للعمود لأغلب المضخات والمحركات تثبت داخليًا إلى مخرج الضغط المنخفض. ويكون الضغط المنخفض عند مدخل المضخة لكنه يكون أيضًا عند مخرج المحرك، ولذا فإنه عند استخدام مضخة ترسية أو ريشية كمحرك، يجب أن يعكس اتجاه الدوران. تتوفر أيضًا المحركات الكباسية المحورية ذات الإزاحة الثابتة أو المتغيرة.

المعادلات من رقم (٣, ٤٠) إلى رقم (٣, ٤٢) هي لحساب السرعة، والعزم، والقدرة الخارجة، بالترتيب، لمحرك هيدرولي:

$$n_m = \frac{1000\, Q\, \eta_{vm}}{V_m} \qquad (٣, ٤٠)$$

$$T_m = \frac{\Delta p\, V_m\, \eta_{tm}}{2\pi} \qquad (٣, ٤١)$$

$$P_{sm} = \frac{Q\, \Delta P\, \eta_{pm}}{60} \qquad (٣, ٤٢)$$

حيث:

n_m = سرعة المحرك، لفة/ دقيقة

η_{vm} = الكفاءة الحجمية للمحرك

V_m = إزاحة المحرك، سم^3/ لفة

T_m = عزم المحرك، نيوتن . م

η_{tm} = كفاءة عزم المحرك

P_{sm} = قدرة عمود المحرك، كيلوواط

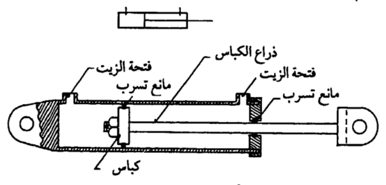
η_{pm} = $(\eta_{vm} * \eta_{tm})$ = كفاءة القدرة للمحرك

Q = معدل التصرف خلال المحرك، لتر/ دقيقة

Δp = هبوط الضغط عبر المحرك، ميجابسكال.

تماثل الكفاءة الحجمية، وكفاءة العزم، وكفاءة القدرة لمحرك تلك الكفاءات
لعروفة لمضخة وتتغير كما هو موضح في الشكل رقم (٢٠ , ٣).

الأسطوانات الهيدرولية. تتوفر الأسطوانات الهيدرولية سواء كانت
حادية أم ثنائية الفعل. يوضح الشكل رقم (٢٩ , ٣) مقطع لأسطوانة ثنائية الفعل.
دفع الزيت إلى الفتحة اليسرى لتجعل الأسطوانة تتقدم وتدفع حركة الكباس الزيت
ى الخارج من الفتحة اليمنى. وبعكس توصيلات المخارج تتمكن الأسطوانة من
رجوع إلى ماكانت عليه. يمكن تحويل الأسطوانة ثنائية الفعل المبينة في الشكل رقم
٢٩ , ٣) إلى أحادية الفعل وذلك بتفريغ الزيت على يمين الكباس. ووضع منفس
واء في فتحة الزيت على اليمين. وتستخدم الأسطوانة أحادية الفعل التي يتوفر فيها
حملاً خارجيًا والذي يجعل الأسطوانة تتراجع. حُددت أبعاد الأسطوانة الهيدرولية
تي تتحكم في المعدات الزراعية بواسطة مواصفة الجمعية الأمريكية للمهندسين
زراعيين رقم (S 201.4) .



شكل ٣,٢٩. أسطوانة هيدرولية ثنائية الفعل.

يمكن حساب سعة التحميل للأسطوانة باستخدام المعادلة التالية:

$$F = \frac{p_1\ A_1 - p_2\ A_2}{10} \qquad (٣ , ٤٣)$$

حيث:

F = الحمل الموجه بذراع الأسطوانة، كيلونيوتن

A_1 = مساحة سطح الكباس، سم[٢]

A_2 = مساحة سطح الكباس مطروحًا منها مساحة مقطع الذراع، سم[٢]

p_1 = الضغط (قياسي) المؤثر على المساحة (A_1)، ميجابسكال

p_2 = الضغط (قياسي) المؤثر على المساحة (A_2)، ميجابسكال.

المعامل ١٠ هو ببساطة معامل تحويل وحدات. تبين الإجابة السالبة أن الأسطوانة تتراجع. في كثير من الحالات، سوف توصل إحدى الفتحات بالخزان، وسوف يصبح الضغط المناظر مساويًا للصفر ضغطًا قياسيًا.

يمكن استخدام المعادلة رقم (٣،٤٤) لحساب سرعة تقدم أو تراجع الأسطوانة:

$$v = \frac{Q}{6\,A_i} \qquad (٣,٤٤)$$

حيث:

v = سرعة تحرك الذراع، م/ث

Q = السريان داخل الأسطوانة، لتر/دقيقة

A_i = A_1 إذا كانت الأسطوانة تتقدم، أو = A_2 إذا كانت الأسطوانة تتراجع، سم[٢]

لاحظ أنه لقيمة معينة لـ (Q) تتقدم الأسطوانة بسرعة أقل من سرعة تراجعها، طالما كانت (A1) أكبر من (A2). ويحسب السريان الراجع من الأسطوانة ثنائية الفعل من المعادلة التالية:

$$Q_{cr} = 6 * A_j\ v \qquad (٣,٤٥)$$

حيث:

Q_{cr} = السريان أثناء رجوع الأسطوانة، لتر/دقيقة

A_j = A_2 إذا كانت الأسطوانة تتقدم، أو = A_1 إذا كانت الأسطوانة تتراجع، سم[٢].

سوف يتضح من المعادلتين رقمي(٣, ٤٤) و (٣, ٤٥) أن الأسطوانة تعيد
كمية زيت أقل من الكمية التي تستقبلها أثناء تقدمها، وأنها تعيد كمية زيت أكبر من
التي تستقبلها أثناء تراجعها. لذا، يجب أن يقوم الخزان بتعويض النقص في التصرف
و يمتص التصرف الزائد.

٣, ٢, ٤ الخزانات، والموائع، والمرشحات، والخطوط

يمد الخزان المضخة بالزيت ويوفر مكانًا لرجوع الزيت من الدائرة. يجب أن
يكون الخزان كبيراً بالقدر الكافي الذي يسمح بتبريد الزيت، أي أن الخزان الأكبر
سوف يسمح ببقاء الزيت لمدة أكبر من أجل تبريده. وإذا لم يوفر الخزان التبريد
الكافي، يمكن استخدام مبرد للزيت ليوفر التبريد الكامل. يحتوي الخزان المصمم
بطريقة سليمة على حواجز داخلية ليقلل من تناثر الزيت، وتكون فوهات المداخل
والمخارج مرتبة بطريقة معينة لمنع الزيت الراجع من الدائرة الهيدرولية من الدخول
مرة أخرى في الحال إلى المضخة. يجب أن تكون فتحة الرجوع تحت سطح الزيت
لمنع سحب الهواء والرغاوي (الفقاعات الهوائية) أثناء رجوع الزيت إلى الخزان. في
النهاية، يجب أن يفتح الخزان للضغط الجوي للسماح بتغيير مستويات الزيت،
ويجب أن تحتوي فتحة التهوية على مرشح لمنع دخول الأتربة. عند مرور الزيت
خلال المواسير، والصمامات، ووسائل أخرى والتي لاتقوم بعمل آلي، يؤدي أي
هبوط في الضغط إلى تحويل القدرة الهيدرولية إلى حرارة. ويمكن حساب القدرة
المفقودة ومعدل توليد الحرارة من المعادلة التالية:

$$P_L = \frac{\Delta P\ Q}{60} \qquad (٣, ٤٦)$$

حيث:

P_L = الفقد في القدرة في الجهاز غير العامل، كيلوواط

Δp = هبوط الضغط خلال الجهاز، ميجابسكال

Q = التصرف خلال الجهاز، لتر/ دقيقة.

اللزوجة هي أهم خصائص المائع الهيدرولي. ويوصي الصانعون بشكل عام بأن تتراوح لزوجة المائع من ١٢ إلى ٤٩ مللي بسكال. ثانية عند درجة حرارة تشغيل المضخة. تقل لزوجة المائع على نحو واضح بزيادة درجات الحرارة، لكن يقل اعتماد اللزوجة على درجة الحرارة إذا كان المائع ذا مؤشر لزوجة عال. يكون مؤشر اللزوجة العالي مرغوبًا أكثر للموائع الهيدرولية، حيث يوضع المائع تحت تأثير مدى واسع من التغير في درجة الحرارة والمضخات، وتصبح المحركات غير ذات كفاءة عندما تكون اللزوجة قليلة جداً أو عالية جداً، انظر الشكل رقم (٣,٢٠). الموائع البترولية تكون معرضة للأكسدة. ويتضاعف معدل الأكسدة كل ١٠ درجات مئوية زيادة في درجة الحرارة، لكن يكون قليلاً جداً عندما تكون درجة الحرارة أقل من ٦٠ درجة مئوية. تستخدم المواد المضافة إلى المائع لتقليل الأكسدة، والترغية، والتآكل. ويستخدم أيضًا مانع الصدأ بصفة عامة. يستخدم صندوق نقل الحركة في الجرارات والمعدات ذاتية الحركة غالبًا كخزان للنظام الهيدرولي. لذا فإن نفس المائع الذي يعمل كمائع هيدرولي يعمل أيضًا على تزييت التروس في صندوق نقل الحركة.

يمكن أن تشكل الجزيئات المعدنية والملوثات الصلبة الأخرى ضرراً بالغًا بالمكونات الهيدرولية. يكون الخلوص بين الأجزاء المترافقة ١٠ ميكرومتر أو أقل في بعض المكونات الهيدرولية، وقد يحدث انهيار سريع إذا مرت جزيئات لها نفس هذا الحجم بين الأجزاء المترافقة. لذا تستخدم المرشحات لإزالة الملوثات في نظام القدرة الهيدرولية. هناك ثلاثة بدائل لوضع المرشح في دائرة القدرة الهيدرولية، هي: (أ) بين الخزان وفتحة مدخل المضخة، (ب) مباشرة بعد فتحة مخرج المضخة، (جـ) مباشرة قبل مدخل الرجوع إلى الخزان. يندر استخدام الموضع (أ) حيث يمكن أن يتسبب هبوط الضغط عبر المرشح في توليد ضغط دون الضغط الجوي داخل المضخة، يسبب تكهف وتلف المضخة. ويندر أيضًا استخدام الموضع (ب) بسبب مقاومة المرشح للضغوط العالية في هذا الموضع. لذا فعادة يتم اختيار الموضع (جـ) للمرشحات التي يمكنها إزالة الجزيئات الصغيرة الأقل من ١٥ ميكرومتر. إضافة إلى ذلك، قد تستخدم مصفاة أو مرشح مسامي في الموضع (أ) لمنع الجزيئات الأكبر (نموذجيًا أكبر من ١٥٠ ميكرومتر) من الوصول إلى المضخة.

تتكون الخطوط من أنابيب هيدروليـة أو خراطيم هيدروليـة لنقل المائع بين الأجهزة المختلفة في دائرة القدرة الهيدرولية. تُعامل كُل من الأنابيب والخراطيم كأنابيب ملساء والتي يجب اختيار القطر المناسب لها لتجنب الهبوط الزائد في الضغط في الخطوط. يستخدم رقم رينولد لحساب التصرف في الخطوط سواء كان طبقيًا أو اضطرابيًا. ويعرف رقم رينولد كالتالي:

$$N_{Re} = \frac{4\,C\,\rho_f\,Q}{\pi\,\mu\,d} \qquad (٣,٤٧)$$

حيث:

N_{Re} = رقم رينولد، بدون وحدات

ρ_f = كثافة المائع، كجم/ م^٣

C = ١٦,٦٧ = ثابت وحدات

Q = التصرف خلال الأنبوب، لتر/ دقيقة

μ = اللزوجة الدينامية للزيت، ميللي بسكال. ث

d = القطر الداخلي للأنبوب، م.

يكون السريان طبقيًا لأرقام رينولد التي تقل عن ٢٠٠٠، ومضطربًا تمامًا لأرقام رينولد التي تزيد على ٤٠٠٠. ويكون السريان بين هذه الحدود في منطقة تحول. ويستخدم قانون (Hagen-Poiseuille) لحساب فواقد الضغط للسريان الطبقي في الأنابيب، بمعنى:

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{2.13\,\mu\,Q}{\pi\,d^4} \qquad (٣,٤٨)$$

حيث:

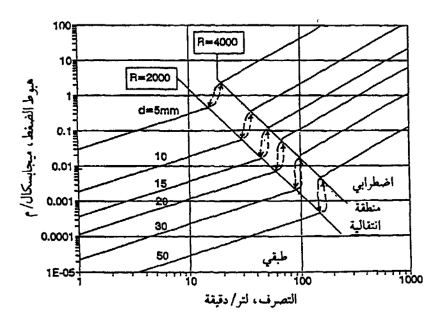
Δp = هبوط الضغط، ميجابسكال

L = طول الأنبوب والذي يحدث خلاله هبوط الضغط، م.

في حالة السريان المضطرب تمامًا، يمكن حساب هبوط الضغط من المعادلة التالية:

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{0.0333\,\mu^{0.25}\,\rho^{0.75}\,Q^{1.75}}{d^{4.25}} \quad (٣,٤٩)$$

حيث تعرف المتغيرات كما في المعادلة رقم (٣,٤٨). وللتيسير، رسمت المعادلتان رقما (٣,٤٨) و(٣,٤٩) في الشكل رقم (٣,٣٠).



شكل ٣,٣٠. الانخفاض في الضغط في الأنابيب الهيدرولية لـ (ρ) = ٨٥٠ كجم/م٣ و (μ) = ٢٧,٦ مللي بسكال.ث.

يشير المصطلح "الفواقد الصغرى" إلى هبوط الضغط الناتج عن وصلات الإحكام، والانحناءات والتغيرات المفاجئة في المقطع العرضي. و يمكن حساب هبوط الضغط الناتج عن الانحناءات من المعادلة التالية:

$$\Delta P = \left(1.39 * 10^{-4}\right) K\, \rho_f\, \frac{Q^2}{A^2} \quad (٣,٥٠)$$

حيث :

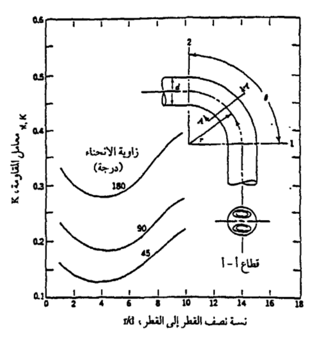
Δp = هبوط الضغط ، ميجابسكال

Q = السريان في الأنبوب ، لتر/ دقيقة

ρ_f = كثافة المائع ، كجم/ م^3

A = مساحة مقطع الأنبوب ، م^2

K = معامل بدون وحدات ، مأخوذ من الشكل رقم (٣١, ٣).



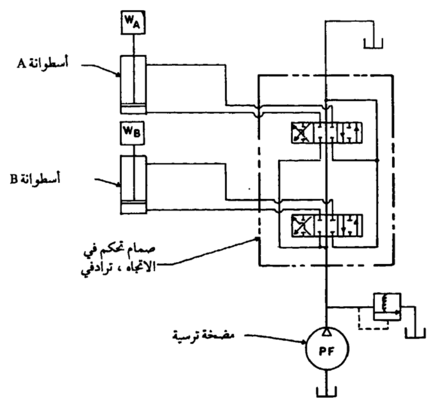
شكل ٣,٣١ . معاملات المقاومة لانحناءات الأنابيب.

(عن : J. J. Taborek,"Fundamentals of Line Flow", Machine Design Magazine, 16 Apr. 1959)

الثـوابت العـددية في المعـادلات من رقـم (٤٨ , ٣) إلى رقـم (٥٠ , ٣) هي معاملات تغيير وحدات . يضاف هبوط الضغط المحسوب من المعادلة رقم (٥٠ , ٣) إلى هبـوط الضـغط الذي قد يحسب لأنبوب مستقيم بطول مساو . يحدث هبوط الضغط في مختلف الأكواع، والصمامات، ووصلات الإحكام الأخرى المستخدمة لربط دوائر القدرة الهيدرولية . ويمكن الحصول على بيانات عن هبوط الضغط من مصنعي هذه المكونات أو بالقياس العملي. . . .

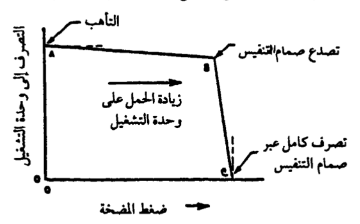
٣,٢,٦ أنواع نظم القدرة الهيدرولية

تدار المضخة الهيدرولية في أغلب المعدات الزراعية الحديثة، مباشرة عن طريق المحرك، لذا سوف تكون القدرة الهيدرولية متاحة طالما كان المحرك في حالة تشغيل. يمكن أن يقال إن نظام القدرة الهيدرولية في حالة تأهب عندما تكون المضخة في حالة تشغيل، لكن لاتكون هناك حاجة للقدرة الهيدرولية. وأي قدرة تعطى إلى المضخة أثناء التأهب تتحول إلى حرارة، لذا يكون من الضروري أن تقل قدرة العمود الداخلة للمضخة أثناء التأهب. كما توضح المعادلتان رقما (٣,٣٧) و(٣,٣٨)، توجد ثلاث طرق لتقليل القدرة أثناء التأهب. وهذه الطرق تقلل (أ) ضغط المضخة، (ب) تصرف المضخة، أو (جـ) تصرف وضغط المضخة. هذه الطرق تقودنا، بالترتيب، إلى أنظمة القدرة الهيدرولية المتاحة الآن للاستخدام في المعدات الزراعية وهي المركز المفتوح (OC)، الضغط المعادل (PC) والضغط والتصرف المعادل (PFC).



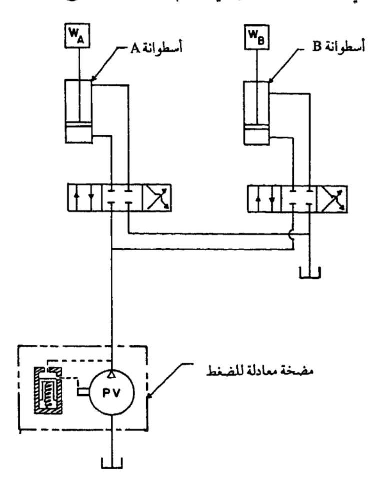
شكل ٣,٣٢. منظومة هيدرولية ذات مركز مفتوح.

نظم المركز المفتوح. كان نظام القدرة الهيدرولية ذو المركز المفتوح، الشكل رقم (٣,٣٢)، أول نظام يستخدم مع المعدات الزراعية ومازال يستخدم مع بعض الجرارات الصغيرة. ويشمل هذا النظام مضخة ترسية ذات إزاحة ثابتة، صمام تنفيس، صمام ترادفي (DCV)، مع واحد أو أكثر من الكباسات الانزلاقية، وواحد أو أكثر من المشغلات. يوضح الشكل رقم (٣,٣٣) منحنى الضغط مقابل السريان لنظام المركز المفتوح. أثناء التأهب، يعمل النظام عند السريان الكامل لكن بضغط قليل جداً لأن المضخة تستطيع التصرف بحرية إلى الخزان من خلال الصمام الترادفي (DCV). عندما يزاح الكباس الانزلاقي في الصمام الترادفي ليرسل الزيت إلى المشغل، فإن الضغط يرتفع ليكون كافيًا فقط لتحريك الحمل، ويقل السريان تدريجيًا عندما تهبط قيم (η_{vp}) مع زيادة الضغط، انظر الشكل رقم (٣,٢٠). إذا كان حمل المشغل كبيراً جداً، يتصدع صمام التنفيس ويقل السريان إلى المشغل بمجرد تحول الزيت إلى الخزان من خلال صمام التنفيس. تنتج أقصى قدرة هيدرولية تمامًا إلى يسار النقطة (B) في الشكل رقم (٣,٣٣)، أي، مباشرة قبل فتح صمام التنفيس. وعندما يزاح اثنان أو أكثر من الكباسات الانزلاقية في الصمام الترادفي في نفس الوقت، فإن الزيت يتصرف إلى المشغل الذي يتطلّب أقل ضغط؛ وتتوقف المشغلات الأخرى حتى يرتفع الضغط. وإذا كان حمل الأسطوانة (WA) في الشكل رقم (٣,٣٢) أكبر من حمل الأسطوانة (WB)، على سبيل المثال، سوف تتحرك الأسطوانة (B) أولاً



شكل ٣,٣٣. مخطط الضغط مقابل التصرف لمنظومة هيدرولية ذات مركز مفتوح.

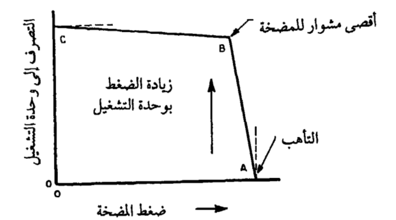
وتتوقف الأسطوانة (A) حتى تصل إلى نهاية مشوارها . ويعرف مثل هذا الفعل بأنه الترتيب التعاقبي وهو عيب جوهري في النظم ذات المركز المفتوح .



شكل ٣,٣٤ . منظومة هيدرولية معادلة للضغط.

نظم معادلة الضغط. تم تطوير منظومة معادلة الضغط المبين في الشكل رقم (٣,٣٤) لكي يتغلب على بعض القصور في نظام المركز المفتوح . تمثل مضخة معادلة الضغط قلب المنظومة ، انظر الشكل رقم (٣,١٩) والتي تضبط تصرفها آليًا بجعل صمام التحكم في المشوار يفتح للسماح للزيت بدخول علبة مرفق المضخة ، تثبت الكباسات القطرية بعيدًا عن الكامة وتسبب وقف التصرف وإذا انخفض الضغط ، على سبيل المثال ، عندما تتباعد كباسات الصمام الترادفي ، ينخفض الضغط

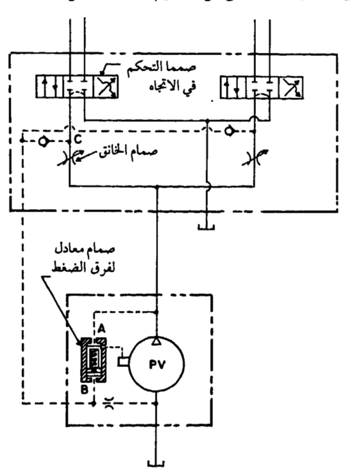
في علبة المرفق، وتبدأ المضخة في دفع الزيت مرة ثانية. يلغي صمام التحكم في المشوار الحاجة إلى صمام التنفيس. لاحظ أن منظومة معادلة الضغط تشمل الصمام الترادفي ذا المركز المغلق، لذا فإن سريان المضخة يكون صفراً عند حالة التأهب، كما هو موضح في الشكل رقم (٣,٣٥). يمكن توصيل أي عدد من المشغلات تزامنيًا؛ حيث إن المضخة تضبط مشوارها تلقائيًا للمحافظة على الضغط كاملاً، فإنه لن يحدث تتابع طالما أن المضخة لم تصل إلى كامل مشوارها. وإذا كان الزيت المطلوب أكثر من الذي تستطيع المضخة توفيره عند المشوار الكامل، تتحرك المنظومة إلى يسار النقطة (B) في الشكل رقم (٣,٣٥) وتعمل كالمنظومة ذات المركز المفتوح المبينة في الشكل رقم (٣,٣٣). ولذلك، فإنه يمكن حدوث التعاقب في المنظومة المعادلة للضغط، إذا تطلّب أحد هذه المشغلات المتصلة تصرفًا كبيراً وضغطًا منخفضًا.



شكل ٣,٣٥. مخطط الضغط مقابل التصرف لمنظومة هيدرولية معادلة للضغط.

نظم معادلة الضغط والتصرف. أحدث الابتكارات في نظم القدرة الهيدرولية هي منظومة معادلة الضغط والتصرف الموضحة في الشكل رقم (٣,٣٦)، وتسمى نظام استشعار الحمل. تشتمل تلك المنظومة على صمام ترادفي ذي مركز مغلق، لذا يكون التصرف مساويًا للصفر عند حالة التأهب. وعلى خلاف المنظومة المعادلة للضغط، فإن الضغط أيضًا يكون منخفضًا عند حالة التأهب، ويرتفع فقط بمقدار كاف ليواجه الضغط الأعلى المطلوب في المنظومة. وهكذا،

يلغي التعاقب. و قلب منظومة معادلة الضغط والتصرف هومضخة مكبسية محورية متعادلة الضغط والتي يتم التحكم في مشوارها بواسطة صمام تعادل الضغط الفرقي (DPVCV) . بإغلاق الفتحة (B) لصمام تعادل الضغط الفرقي، فإن المنظومة سوف تعمل كمنظومة معادلة للضغط مع ضغط تأهب قليل جداً، حيث يستخدم زنبرك ضعيف في صمام تعادل الضغط الفرقي. ولذلك، يكون ضغط التأهب منخفضًا، نموذجيًا حوالي ٤ , ١ ميجابسكال. عندما يتحرك المكبس الانزلاقي لصمام التحكم في الاتجاه، فإن الضغط المطلوب للحمل ينقل إلى الفتحة (B) للمنظومة (DPCV) عن طريق خط استشعار، وهكذا يساعد الزنبرك ويسمح لضغط المضخة الخارج أن يرتفع إلى ٤ , ١ ميجابسكال أعلى من المطلوب للمشغل. ويظهر نفس الفرق

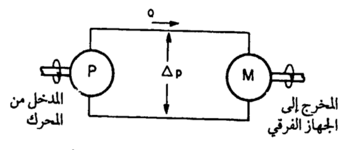


شكل ٣,٣٦. منظومة هيدرولية لمعادلة الضغط والتصرف.

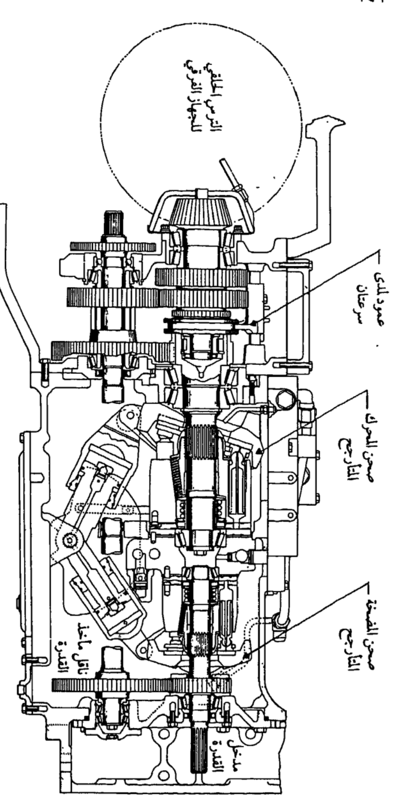
في الضغط ٤ , ١ ميجابسكال عبر صمام الخنق، انظر الشكل رقم (٣,٢٤) والذي ينظم السريان إلى المشغل. وعند توصيل اثنين أو أكثر من المشغلات ذات متطلبات ضغط مختلفة معًا في نفس الوقت، فإن الضغط الأعلى ينقل إلى الفتحة (B) في المنظومة (DPCV) . يظهر هبوط ضغط أكبر من ٤ , ١ ميجابسكال عبر صمامات الخنق التي تتحكم في المشغلات مع متطلبات ضغط أقل. يحتوي كل صمام خنق على أداة يدوية للضبط للسماح للعامل بالتحكم في سرعة المشغل المشارك. يشابه منحنى الضغط والتصرف للمنظومة (PFC) المنحنى الموضح في الشكل رقم (٣,٣٥). فيما عدا أنه يمكن للنظام العمل عند أي نقطة تحت المنحنيات. يتم التحكم في الضغط بواسطة متطلبات المشغل والتحكم في السريان بواسطة صمامات الخنق. وتكون حالة التأهب للمنظومة (PFC) قريبة من نقطة الأصل في الشكل رقم (٣,٣٥)، وليست عند النقطة (A).

٣,٢,٧ مخفضات الضغط

المعادلات التي تم عرضها في الجزء رقم (٣,٢) هي للسلوك المنتظم لنظم القدرة الهيدرولية. وهي بصفة عامة كافية لتحليل وتصميم نظم القدرة الهيدرولية ذات التحكم اليدوي. ويجب أن تؤخذ مخفضات الضغط في الاعتبار في نظم التحكم الآلي التي تدمج التغذية الراجعة أو أن النظم قد تقدم سلوكًا غير مستقر. والمعادلات التي تصف سلوك المخفضات بعيدة عن مجال هذا الكتاب. ومع ذلك تتوفر بعض برامج الحاسوب التي تمكن من استخدامه في تمثيل سلوك المخفضات في نظم القدرة الهيدرولية.



شكل ٣,٣٧. ناقل حركة هيدروستاتي.



شكل ٣,٢٨ . صندوق سرعات هيدروستاتي ذو تشغيل ثقيل على التوالي مع صندوق سرعات تعشيق يدوي. (عن: Case-IH)

٣,٢,٨ النقل الهيدروستاتي

يتكون ناقل القدرة الهيدروستاتي من مضخة متصلة بمحرك هيدرولي، كما هو موضح في الشكلين رقمي (٣,٣٧) و(٣,٣٨). يمكن حساب السرعة الخارجة من الناقل من المعادلة التالية:

$$n_m = \eta_{vp}\, \eta_{vm}\, \frac{V_p}{V_m}\, n_p \qquad (٣,٥١)$$

تتوفر معادلتان لحساب العزم الخارج، هما:

$$T_m = \eta_{tp}\, \eta_{tm}\, \frac{V_m}{V_p}\, T_p \qquad (٣,٥٢)$$

$$T_m = \frac{V_m\, \eta_{tm}}{2\pi}\, \Delta p \qquad (٣,٥٣)$$

تحسب المعادلة رقم (٣,٥٢) العزم الخارج، والذي يخضع لحد الضغط الأقصى المعبر عنه بالمعادلة رقم (٣,٥٣). المتغيرات في المعادلات من رقم (٣,٥١) إلى رقم (٣,٥٣) هي كما عرفت سابقًا. وللحصول على نسبة سرعة متغيرة فإن المضخة أو المحرك أو كليهما يجب أن يكون له إزاحة متغيرة. توضح المعادلتان رقما (٣,٥١) و(٣,٥٣) أن الناقل ذا السرعة المتغيرة (V_p) والسرعة الثابتة (V_m) هو ناقل ذو عزم ثابت؛ وتقليل (Vp) يقلل من السرعة الخارجة لكن يقيد العزم الخارج بالضغط المقرر للناقل ولا يمكن زيادته. لذا، تتضاءل القدرة بتناقص السرعة الخارجة. وتستخدم نواقل القدرة الهيدروستاتية ذات العزم الثابت في بعض السيارات ذات التشغيل الخفيف والتي تحتاج فقط إلى عزم خارج محدود.

النقل ذو السرعة الثابتة (Vp) والمتغيرة (Vm) يعتبر نقلاً ذا قدرة ثابتة لأنه، عندما تزداد (Vm) لخفض السرعة الخارجة، يزداد العزم الخارج تلقائيًا بدون زيادة في ضغط المنظومة. كل أنواع النواقل ذات التروس لها سمة القدرة الثابتة، والتي تكون مرغوبة في نقل القدرة. ولذلك نادراً مايستخدم النقل الهيدروستاتي ذو القدرة

الثابتة بسبب مداه المحدود ولايمكن لـ(V_m) الوصول إلى القيمة اللانهائية والتي يحتاجها للوصول بالسرعة الخارجة إلى قيمة تساوي صفراً. كذلك، لايمكن لـ(V_m) الوصول إلى الصفر بدون منع وقف تصرف المضخة، لذا فإنه لايمكن عكس اتجاه ميل الصحن المتأرجح للمحرك، انظر الشكل رقم (٣٨ , ٣). ولايمكن للناقل عكس اتجاه حركة السيارة.

تشتمل النواقل الهيدروستاتية للجرارات ذات الخدمة الشاقة كما يوضح الشكل رقم (٣٨ , ٣)، على مضخة ذات إزاحة متغيرة ومحرك ذي إزاحة متغيرة. تسمح السرعة المتغيرة (V_p) بتحكم خطي في السرعة الخارجة ومقدرة كاملة لعكس اتجاه الحركة. السرعة المتغيرة (V_m) تسمح ببعض الزيادة في العزم الخارج عندما تنخفض السرعة الخارجة. نظريًا، يستطيع الناقل الهيدروستاتي توفير تحكم كامل في المدى في السرعة لكن، كما يوضح الشكل رقم (٢٠ , ٣)، سوف تكون كفاءة النقل صغيرة جداً عند نسب السرعة المنخفضة أو العالية. ولتحسين الكفاءة، يستخدم غالبًا ناقل آلي على التوالي مع الناقل الهيدروستاتي، كما هو موضح في الشكل رقم (٣٨ , ٣). يسمح الناقل الآلي للناقل الهيدروستاتي أن يعمل على مدى سرعة أكثر تقاربًا وبالتالي حفاظًا أفضل على كفاءته.

تمارين على الفصل الثالث

١ , ٣ يستخدم سير على شكل حرف (V) من النوع (HB) لنقل قدرة مقدارها ٥ كيلوواط عند سرعة سير ١٧ م/ ث. الزاوية المحصورة بين جوانب مقطع السير مقدارها ٣٨° وكثافة السير ١,٢٥ جم/ سم^3. وقوس التلامس للبكرة الصغرى هو ١٥٠° يتم ضبط الشد بتغيير مكان شدادة الضبط (ليس آليًا). احسب كل من(T_1) و (T_2).

٢ , ٣ يحتوي ناقل حركة بسير على شكل حرف (V) على بكرتين ذات قطر خارجي فعال ١٢٥ م و٣٤٨م. ويوجد عمود واحد قابل للتحرك لأعلى بغرض الرفع والمسافة المركزية المرغوبة حوالي ٤٦٠ م. (أ) باستخدام المواصفة القياسية للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم (S 211) والمثال الموجود فيها اختر أحسن طول

فعال تقريبي متوفر لنوع السير (HB) واحسب أقصى وأقل المسافات المركزية المطلوبة للتركيب والرفع. (ب) احسب سرعة البكرة الكبرى إذا دارت البكرة الصغرى بسرعة ١٢٥٠ لفة/ دقيقة.

٣,٣ (أ) احسب النسبة المئوية النظرية للتغير في سرعة جنزير حينما تجعل عجلة مسننة ذات ٨ أسنان تدور بسرعة منتظمة. (ب) أعد الحل لعجلة مسننة ذات ١٨ سنًا.

٤ , ٣ عجلة مسننة ذات ٩ أسنان تعمل عند سرعة ٢٠٠ لفة/ دقيقة وتدير عجلة مسننة أخرى ذات ٢٣ سنًا من خلال جنزير من النوع ذي الحلقات الصلب المتصلة رقم ٤٥، خطوة الجنزير مقدارها ٤١,٤ م، الإجهاد الأقصى مقداره ٩,٣٤ كيلونيوتن. احسب (أ) السرعة الخطية للجنزير، م/ث. (ب) القدرة القصوى الموصى بها، كيلوواط. (جـ) العزم المتوسط المؤثر على عمود الإدارة عند القدرة الموصى بها.

٥ , ٣ تعمل وصلتان جامعتان زوجيتان عند زوايا وصلات ٣٠°، ٢٢°، على الترتيب. وبحيث يكون كل من العمود الداخل، والعمود الأوسط، والعمود الخارج في نفس المستوى. الروابط على نهايتي العمود الأوسط على نفس الخط. (أ) احسب التقدم والتأخر في كل وصلة لكل فترة ١٥° من دوران العمود الداخل من صفر إلى ٩٠°، (ب) ارسم التقدم والتأخر مقابل درجة الدوران للعمود الداخل موضحا المنحنى لكل وصلة على حدة ومنحنى واحد للنظام كله. وعلى كل وصلة وضح أين تبلغ الذروة؟ (جـ) ماهو التغيير الذي قد يمكن عمله في نظام النقل لإعطاء دوران منتظم للعمود الداخل.

٦ , ٣ عمودان متصلان بواسطة وصلة جامعة والتي تعمل عند زاوية وصل ٣٠°. سرعة العمود الداخل مقدارها ١٠٠٠ لفة/ دقيقة. (أ) احسب وارسم سرعة العمود الخارج خلال دورة واحدة كاملة للعمود الداخل. (ب) احسب زاوية العمود الداخل التي يكون عندها تسارع العمود الخارج عند القيمة القصوى.

٧ , ٣ يحتوي ناقل هيدروستاتي على مضخة قيمة (C_f) لها ٩,٩ × ١٠^{٨} سم^{٣} وقيمة ($A * C_L$)تساوي ٤,٥٣ × ١٠$^{-٨}$ سم^{٣}؛ معادلات كفاءة المضخة معطاة في التمرين

رقم (١١ , ٣)، المضخة متصلة هيدروليًا بمحرك معادلة كفاءته معطاة في التمرين رقم (١٤ , ٣)، و(C_f) له = ٥ , ٢ × ١٠ ^٨ سم٣ و ($A * C_L$) = ٠ , ٤ × ١٠ ^-٨ سم^٣، لزوجة الزيت في الدائرة الهيدروستاتية ٢٧ مللي بسكال . ث . افرض أن سرعة المضخة ثابتة دائمًا عند ٢٢٠٠ لفة/ دقيقة. وإزاحة المضخة (V_p) يمكن أن تتغير من ١٢٠ سم^٣/ لفة للحركة الأمامية إلى ١٢٠ سم^٣/ لفة للحركة الخلفية، ومقدار إزاحة المحرك (V_m) ١٢٠ سم^٣/ لفة عندما تكون (V_p) مساوية للصفر. وتتغير خطيًا مع (V_p) إلى قيمة صغرى ٦٠ سم^٣/ لفة عندما تكون (V_p) تساوي ١٢٠ سم^٣/ لفة. بفرض أن حمل العزم على الناقل يكون(Δp) = ٣٩ ميجابسكال، احسب المتغيرات التالية عند ١٠ مراحل من (V_p) من صفر إلى ١٢٠ سم^٣/ لفة: (أ) (η_{vp})، (ب) (η_{tp})، (جـ) (η_{pp})، (د) العزم، (هـ) القدرة المطلوبة لتشغيل المضخة، (و) معدل سريان الزيت في دائرة مضخة المحرك، (ز) العزم، (ح) القدرة، (ط) كفاءة القدرة الكلية للنظام الهيدروستاتي. لاحظ أن هذا التمرين يكون مناسبًا لورقة العمل الممتدة. أيضًا، بمعلومية تصرف المضخة، تعتمد (n_m) على (η_{vm}) والعكس بالعكس، لذا يكون التكرار مطلوبًا.

٨ , ٣ كما جاء في التمرين رقم (٨ , ٣)، ماعدا أن (Δp) تساوي ١٥ ميجابسكال لتقليل حمل العزم على الناقل الهيدروستاتي.

٩ , ٣ مضخة كباسية هيدرولية إزاحتها ٥٤ , ١٠ سم^٣/ لفة، معدل سرعتها ١٨٠٠ لفة/ دقيقة والضغط المقدر لها ٣ , ١٠ ميجابسكال، وتصرف التسرب معطى بـ:

$$Q_{LP} = 0.00368\ \Delta p$$

باستخدام المعادلة الموجودة في هذا التمرين والموجودة في الكتاب، (أ) احسب السرعة بدلالة(Δp) والتي يكون عندها (η_{vp}) تساوي صفراً. (ب) ابدأ عند نفس السرعة المنخفضة وانتهى عند السرعة المقدرة، ارسم (η_{vp}) مقابل سرعة المضخة لقيم (Δp) تساوي ٥ و ١٠ ميجابسكال، بمعنى، ارسم منحنيين على الرسم البياني. (جـ) حدد مدى السرعة والضغط الذي تستطيع المضخة أن تعمل عندهما إذا كانت قيمة (η_{vp}) ٠.٩٥ أو أكبر.

١٠ , ٣ يمكن حساب عزم الاحتكاك للمضخة في التمرين رقم (٣, ٩) باستخدم المعادلة التالية :

$$T_{fp} = 0.0014\, n_p$$

حيث (T_{fp}) = عزم الاحتكاك، نيوتن . م، و(n_p) هي سرعة المضخة لفة/ دقيقة. احسب (أ) عزم الاحتكاك عندما تدور المضخة بالسرعة المقدرة، (ب) العزم النظري، و(جـ) العزم الحقيقي للعمود، و(د) كفاءة العزم عندما تعمل المضخة عند الضغط المقدر. (هـ) ارسم أيضًا (η_{tp}) مقابل ضغط المضخة لمدى ضغط يتراوح من ١ , ٠ ميجابسكال حتى الضغط المقدر ولسرعات للمضخة تتراوح من ٩٠٠ إلى ١٨٠٠ لفة/ دقيقة، بمعنى ارسم منحنيين على نفس الرسم البياني. (و) حدد مدى السرعة والضغط الذي يمكن لهذه المضخة أن تعمل عندهما إذا كانت (η_{tp}) تساوي ٠,٨٥ أو أكثر.

١١ , ٣ (أ) باستخدم المعادلات من الكتاب، ومن التمرين رقم (٣ , ٩) استنتج المعادلة التالية للكفاءة الحجمية للمضخة :

$$\eta_{vp} = 1 - \left(\frac{2\pi A C_L}{V_p}\right)\left(\frac{\mu n_p}{C_u \Delta p}\right)^{-1}$$

حيث :

μ = اللزوجة، ميللي بسكال . ث

n_p = سرعة المضخة، لفة/ دقيقة

Δp = ارتفاع الضغط، ميجابسكال

$C_u = (3 * 10^{10}) / \pi$ = ثابت أدخل ليجعل المتغير بدون وحدات.

لاحظ أن، للقيم العادية من (μ) و (n_p) و (Δp) تكون قيمة المتغير الذي ليس له وحدات صغيرة جداً. أيضا تكون الكمية($2p * A * C_L / V_p$) بدون وحدات عندما تكون (V_p) تساوي إزاحة المضخة بوحدات سم٣/ لفة، و(A) مساحة التسرب

بوحدات سم^٢، و (C_L) ثابت التسرب بوحدات سم. (ب) باستخدام المعادلات من الكتاب ومن التمرين رقم (١٠, ٣)، استنتج المعادلة التالية الخاصة بحساب كفاءة عزم المضخة:

$$\eta_{tp} = \left[1 + \left(\frac{2\pi C_f}{V_p}\right)\left(\frac{\mu n_p}{C_u \Delta p}\right)\right]^{-1}$$

سوف تكون الكمية $(2\pi * C_f / V_p)$ بدون وحدات عندما تكون (C_f) ثابت الاحتكاك بوحدات سم^٣. (جـ) افرض أن (μ) = ٢٥ مللي بسكال. ث، (Δp) = ٣٠ ميجابسكال، (Vp) = ١٢٠ سم^٣/ لفة، $(A * C_L)$ = ٤,٥٣ × ١٠^-٨ سم^٣، و (C_f) = ٩,٩١ × ١٠^٨ سم^٣ اعتبر مدى (np) يتراوح من ٢٠٠ إلى ٢٥٠٠ لفة/ دقيقة، ارسم كلاً من (η_{vp}) و (η_{tp}) و (η_{pp}) مقابل المتغير بدون وحدات $(\mu * np / C_u \Delta p)$. قارن نتائجك مع المنحنيات المرسومة في الشكل رقم (٢٠, ٣).

١٢, ٣ تعمل مضخة لها نفس خواص المضخة في التمرينين رقمي (٩, ٣) و(١٠, ٣) عند السرعة والضغط المقررين. احسب (أ) تصرف المضخة، لتر/ دقيقة، (ب) العزم المطلوب لإدارة المضخة، و(جـ) قدرة العمود.

١٣, ٣ في صمام الخنق الموضح في الشكل رقم (٢٤, ٣)، افرض أن الضغط هو (p_i) عند فتحة المدخل، (p_o) عند فتحة المخرج و(p_x) أثناء مروره بين فتحة التحكم اليدوي وفتحة التحكم للكباس الانزلاقي. افرض أن مساحة التصرف لفتحة التحكم اليدوي (A_m) (للتحكم اليدوي) والمساحة خلال المكبس الانزلاقي تكون (A_a) (للتحكم الآلي). (أ) ابدأ بالمعادلة رقم (٣٩, ٣)، واوجد معادلة لـ(p_x) بدلالة (p_i)، (p_o)، (A_m)، (A_a)، (ب) احسب قيمة (p_x) عندما تكون (p_i) = ١٤ ميجابسكال، (p_o) = ٦ ميجابسكال، و$(A_m = A_a)$. (جـ) احسب أيضًا قيمة (A_m) و(A_a) المطلوبة لتعطي تصرف قدره ٧٠ لتر/ دقيقة خلال الصمام. (د) افرض أن الضغط عند فتحة المخرج ارتفع إلى ٨ ميجابسكال ولا يوجد تغير في (A_m)، إلى أي قيمة يجب أن تتغير (A_a) آليًا للحفاظ على سريان مقداره ٧٠ لتر/ دقيقة خلال الصمام. (هـ) أعد حل الجزء (د) بفرض تخفيض الضغط عند فتحة المخرج إلى ٤ ميجابسكال.

١٤, ٣ محرك له نفس معادلات التسرب والاحتكاك للمضخة المعطاة في التمرينين

رقمي (٩ , ٣) و(١٠ , ٣) بالترتيب ، (أ) استنتج المعادلة التالية للكفاءة الحجمية للمحرك :

$$\eta_{vm} = \left[1 + \left(\frac{2\pi C_L A}{V_m}\right)\left(\frac{\mu n_m}{C_u \Delta p}\right)^{-1}\right]^{-1}$$

(ب) استنتج المعادلة التالية لكفاءة عزم المحرك .

$$\eta_{Tm} = 1 - \left(\frac{2\pi C_f}{V_m}\right)\left(\frac{\mu n_m}{C_u \Delta p}\right)$$

ورموز كل من المعادلتين السابقتين هي نفسها الموجودة في التمرين رقم (١٢ , ٣) ماعدا التي تحتها الحرف (m) التي ترمز إلى المحرك الهيدرولي . (جـ) افرض أن (μ) = ٢٥ مللي بسكال . ث ، (Δp) = ٢٥ ميجا بسكال ، (V_m) = ٦٠ سم^{٣}/ لفة ، (A ، C_L) * = ٤ , ٠ × ١٠$^{-٧}$ سم^{٣} ، (C_f) = ٠٢٥ , ٠ × ١٠^{٨} سم^{٣} . اعتبر أن (n_m) تتغير من ٢٠٠ إلى ٢٠٠٠ لفة/ دقيقة . ارسم كلاً من : (η_{vm}) و (η_{tm}) و (η_{pm}) مقابل المتغير بدون وحدات ، وقارن إجابتك مع الشكل رقم (٢٠ , ٣) .

١٥ , ٣ في الأسطوانة زوجية الفعل المبينة في الشكل رقم (٢٩ , ٣)، اعتبر المخرج رقم (2) هو المخرج على اليمين (نهاية عمود الأسطوانة) والمخرج (1) هو على اليسار . قطرا الكباس والعمود هما ٧٥ ، ٢٥ م على الترتيب ، أقصى طول لمشوار الأسطوانة هو ٢٠٠ م ، ويكون مخرج واحد للأسطوانة متصلاً بالمنظومة الهيدرولية والتي لها ضغط مقرر مقداره ١٠ ميجابسكال وأقصى سريان ٥٠ لتر/ دقيقة ، المخرج الآخر للأسطوانة يكون متصلاً بالخزان ، والذي يكون عنده الضغط يساوي صفر قياسي . وعندما تتقدم الأسطوانة عندما يكون المخرج (2) متصلاً بالخزان احسب (أ) أقصى قدرة يمكن الحصول عليها ، (ب) سرعة العمود ، و (جـ) الوقت اللازم للتقدم الكامل للأسطوانة . (د) احسب أيضًا معدل سريان الزيت المنصرف من مخرج رقم (2) إلى الخزان . بعد ذلك ، مع اتصال المخرج رقم (1) بالخزان بينما تتراجع الأسطوانة احسب (هـ) أقصى قوة ، (و) سرعة العمود ، (ز) وقت رجوع الأسطوانة بالكامل .

(ح) احسب أيضًا معدل سريان الزيت من المخرج رقم (1) إلى الخزان.

٣,١٦ أعد حل التمرين رقم (٣,١٥)، لكن باستخدام أبعاد الأسطوانة المحددة بواسطة المدرس.

٣,١٧ يمر سريان مقداره ٥٠ لتر/ دقيقة خلال الصمام الخانق المبين في الشكل رقم (٣,٢٤)، بينما يقدر الهبوط في الضغط عبر الصمام بـ ١٠ ميجابسكال. (أ) احسب معدل توليد الحرارة، كيلوواط، نتيجة فقد القدرة في الصمام. (ب) إذا كان الصمام الخانق يصرف داخل خزان سعته ٢٠ لترًا، احسب الوقت اللازم لإتمام وضع كل الزيت في الخزان (جـ) أثناء حساب الوقت في الجزء (ب)، كم تكون الطاقة الحرارية التي سوف تعطى من الصمام إلى الخزان؟ (د) إذا لم تكن هناك طاقة مبددة من الخزان أثناء ذلك الوقت، كم تكون الزيادة في درجة حرارة الزيت في الخزان؟ افرض كثافة الزيت ٩٠٠ كجم/ م^{3} والحرارة النوعية له ٢,٣ كيلوچول/ كجم. °م. (لاحظ أن الارتفاع الحقيقي في درجة الحرارة سوف يكون أقل من ذلك المحسوب في الجزء (د) بسبب الحرارة المبددة من الخزان).

٣,١٨ مائع هيدرولي لزوجته الدينامية ٢٧,٦ مللي بسكال. ث، وكثافته ٨٥٠ كجم/ م^{3}، ينقل خلال أنابيب هيدرولية بمعدل ٧٥ لتر/ دقيقة. احسب (أ) أصغر قطر للأنبوب للسماح بسريان طبقي، (ب) هبوط الضغط لكل متر من طول الأنبوب، (جـ) القدرة المفقودة لكل متر من طول الأنبوب. (د) استخدم الشكل رقم (٣,٣٠) لعمل تأكيد تقريبي على قيمة هبوط الضغط المحسوب.

٣,١٩ كما جاء في التمرين رقم (٣,١٨)، فيما عدا، استخدم أصغر قطر للأنبوب والذي يعطي سريانًا اضطرابيًا كاملاً.

٣,٢٠ إذا كان المطلوب عمل انحناء °٩٠ بنصف قطر ٤٠ م في الأنبوب الهيدرولي المستخدم في التمرين رقم (٣,١٨). احسب الهبوط الإضافي في الضغط الذي سوف يحدث في الأنبوب نتيجة ذلك الانحناء.

٣,٢١ كما جاء في التمرين رقم (٣,١٨)، فيما عدا، استخدم الأنبوب الهيدرولي في التمرين رقم (٣,١٩).

٣,٢٢ افرض أن كلاً من الأسطوانات الهيدرولية في الشكل رقم (٣,٣٢) لها

فتحة ٦٠ م وقطر عمود ٢٥ م وأقصى مشوار ٢٠٠ م. يفتح صمام التنفيس عند ضغط مقداره ١٥ ميجابسكال، ويقع حمل ٣٠ كيلونيوتن على الأسطوانة (A) بينما يقع حمل ٤٠ كيلونيوتن على الأسطوانة (B). تعطي المضخة سريانًا مقداره ٦٠ لتر/ ث عند السرعة المقررة. لاحظ أن ضغط المضخة يكون صفرًا عندما يكون كلا صمامي التحكم في الاتجاه في وضع التعادل. وإذا حرك العامل مقابض كلا صمامي التحكم في الاتجاه بشكل متزامن لمحاولة رفع كلا الحملين مع الاستمرار في تثبيت المقابض في حالة الرفع، فسوف يرتفع ضغط المضخة من صفر إلى مستوى أول ثم إلى مستوى ثان ويستمر إلى مستوى ثالث، أي أنه سوف يكون هناك ثلاث مراحل من التشغيل. بإهمال فواقد الخط. (أ) احسب مستوى الضغط أثناء المرحلة الأولى، (ب) احسب زمن المرحلة، (جـ) صف سريان الزيت، أي أنه، أين يعمل النظام طبقًا للشكل رقم (٣٣, ٣)، وإلى أين تصرف المضخة الزيت؟ للإجابات (د) و(هـ) و(و) كرر الخطوات (أ) و(ب) و(جـ) ماعدا ذلك للمرحلة الثانية. للإجابات (ز) و(ح) و(ط) كرر الخطوات (أ)، (ب) و (جـ) ماعدا يكون للمرحلة الثالثة.

٢٣ , ٣ كرر حل التمرين رقم (٢٢ , ٣) فيماعدا أن صمام التنفيس يتصدع فاتحًا عند ضغط ١٠ ميجابسكال. وأوجد أيضًا عدد المراحل التي قد لاتساوي ثلاثة كما في التمرين رقم (٢٢ , ٣)، يجب أن تحسب كم مرحلة سوف تحدث.

٢٤ , ٣ في منظومة معادلة الضغط المبينة في الشكل رقم (٣٤, ٣)، الأسطوانات لها نفس الأبعاد كما في التمرين رقم (٢٢ , ٣). في الشكل رقم (٣٥, ٣)، تكون الضغوط ٥ , ١٥ ميجابسكال عند النقطة (A) و١٥ ميجابسكال عند النقطة (B)، تصرفات المضخة تكون ٦٠ لتر/ دقيقة عند النقطة (B) و٦٣ لتر/ دقيقة عند النقطة (C). الأحمال على الأسطوانات هي نفسها كما في التمرين رقم (٢٢ , ٣). بإهمال فواقد الخط، تنبأ بسلوك المنظومة إذا أمسك العامل كلا مقبضي صمامي التحكم في الاتجاه لمحاولة زيادة كلا الحملين للأسطوانة في وقت متزامن. بمعنى احسب ضغط المنظومة، التصرفات، والأزمنة لتلك الظروف كما في التمرين رقم (٢٢ , ٣).

٢٥ , ٣ افرض أن الأسطوانة (A) في الشكل رقم (٣٤ , ٣) متصلة إلى يسار صمام التحكم في الاتجاه في الشكل رقم (٣٦ , ٣) ويتحكم في السريان بواسطة الصمام

الخانق (A) . الأسطوانة (B) متصلة إلى يمين صمام التحكم في الاتجاه والصمام الخانق يتحكم في السريان. الأسطوانات لها نفس الأبعاد المعطاة في التمرين رقم (٣,٢٢). وبوضع وزن مقداره ٣٠ كيلونيوتن على الأسطوانة (A) بينما يوضع وزن مقداره ٤٠ كيلونيوتن على الأسطوانة (B) . ويكون هبوط الضغط عبر الصمام (DPCV) ٤,١ ميجابسكال، والمضخة مهيأة لتعطي ٦٠ لتر/ دقيقة وكل من صمامات الخنق مهيأ لإمرار ٢٥ لتر/ دقيقة. الآن افرض أن العامل أمسك كلا مقبضي صمام التحكم في الاتجاه لمحاولة زيادة كلا الحملين للأسطوانات في وقت متزامن. بإهمال فواقد الخطوط، احسب (أ) ضغط المضخةالخارج، الضغط على المكبس، (ب) الأسطوانة (A) و(جـ) الأسطوانة (B)، هبوط الضغط عبر (د) صمام الخنق (A) و (هـ) صمام الخنق (B) وفقد القدرة في (و) صمام الخنق (A) و(ز) صمام الخنق(B) .

٣,٢٦ كرر حل التمرين رقم (٣,٢٥) فيما عدا أن مقدار الوزن على كل من الأسطوانتين مقداره ٤٠ كيلونيوتن.

الفصل الرابع

شَبْكُ الجرار، الشد، والاختبار

Tractor Hitching, Traction, and Testing

● نظم الشبك ● الإطارات والشد ● كبس التربة ● موازنات الشد ● اختبار الجرار ● تمارين على الفصل الرابع

مقدمة

تستخدم الجرارت بصفة متكررة كمصدر للقدرة للآلات الحقلية. والشَّبْكُ هو وصل الآلة بالجرار. حيث يزود الجرار الآلة بقوة الشد اللازمة لتحريكها في الحقل. لذلك، سوف يتناول هذا الفصل شبك الجرار مع الآلة. وقد ابتكرت طرق اختبار قياسية للجرارات، وسوف يناقش اختبار الجرار في هذا الفصل أيضًا.

٤,١ نظم الشَّبْك

٤,١,١ أساسيات الشبك

تتضمن معظم العمليات الزراعية شبكًا لبعض أنواع من الآلات الزراعية مع الجرار. ويمكن أن تؤثر القوى المنقولة خلال الشبك على أداء كل من الجرار والمعدة. ويشتمل الشبك الحديث على تغذية عكسية للتحكم الآلي في الشد أو العمق لمعدات الحراثة. بالإضافة إلى نقل القوى، فإن الشبك قد يكون مطلوبا أيضًا لحمل المعدة من أجل نقلها.

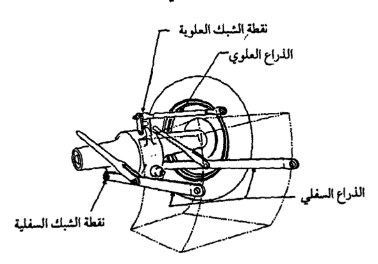
٤,١,٢ أنواع الشبك

كان الجيل الأول من الجرارات يتضمن الشبك عن طريق قضيب الشد الذي يسمح بالشد ولا يحمل أي معدة متصلة به. وفي الوقت الحاضر أصبح الشبك ثلاثي



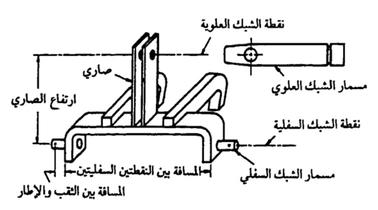
شكل ١,٤. جرار مع عمود مأخذ القدرة والشبك ثلاثي النقاط.

النقاط تجهيزاً قياسيًا على معظم الجرارات. والجرار المبين في الشكل رقم (١, ٤) مجهز بكل من قضيب الشد والشبك ثلاثي النقاط. و المصطلحات الفنية للشبك



شكل ٢,٤. الشبك ثلاثي النقاط للجرار.

(عن : ASAE Standard S217.10,1989)



شكل ٤,٣ . وصلات الشبك ثلاثي النقاط على الآلة.

(عن : ASAE Standard S217.10,1989)

ثلاثي النقاط موضحة في الشكلين رقمي (٤,٢) و(٤,٣). تسمى نقاط الاتصال التي تصل أذرع الشبك بالجرار بنقاط الذراع، بينما تتصل الأذرع بالمعدة عند نقاط الشبك. ابتكرت مقرنات (أدوات لربط حافلتين معًا أثناء الحركة)، الشكل رقم (٤,٤) لتسمح بسرعة الشبك ثلاثي النقاط مع المعدات. تم توحيد أبعاد الشبك ثلاثي النقاط قياسيًا بواسطة الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين (ASAE) منذ عام١٩٥٩م.



شكل ٤,٤ . شبك ثلاثي النقاط مع مقرنة الشبك السريع. (عن : Deere & Co.)

يوضح الجدول رقم (٤,١) أربعة نقاط للشبك والتي تم توحيدها قياسيًا لمختلف

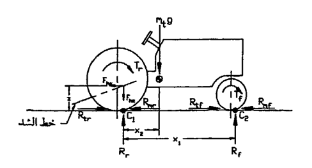
أحجام الجرارات؛ بالإضافة إلى وجود فئة شبك صفر وهي قياسية لجرارات الحدائق. وأبعاد الشبك التي تم توحيدها تشمل قطر مسمار الشبك، ارتفاع الصاري (ارتفاع نقطة الذراع العلوي عن محور النقاط السفلية) والمسافة بين نقطتي الشبك السفليتين. ويمكن إيجاد الأبعاد الدقيقة من المواصفة القياسية للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم (S 217). وتوجد أيضًا مواصفات قياسية عالمية للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين بالنسبة لقضيب الشد، المواصفة رقم(S 207) وهي تحدد أقل الأحمال الرأسية التي يجب أن يتحملها قضيب الشد، بينما تحدد المواصفة رقم (S 203) موضع نقطة شبك قضيب الشد بالنسبة لعمود مأخذ القدرة.

ويمكن أن تحمل الآلة مع الصاري، الشكل رقم (٤,٣) كلية بواسطة الجرار عن طريق الذراعين السفليين فقط وفي هذه الحالة، يجب أن توفر الأرض جزءًا من دعم الآلة. والمحاريث القلابة المطرحية شبه المعلقة هي أفضل مثال معروف لهذا النوع من الشبك. لذا، تشمل الأنواع الثلاثة من الشبك للآلات المقطورة (للآلات المشبوكة مع قضيب الشد)، شبه المعلقة، والآلات المعلقة تمامًا.

جدول ٤,١. فئات الشبك ثلاثي النقاط*.

الفئة	أقصى قدرة لقضيب الشد كيلوواط	(حصان)
I	١٥ - ٣٥	(٢٠ - ٤٥)
II	٣٠ - ٧٥	(٤٠ - ١٠٠)
III, III-N	٦٠ - ١٦٨	(٨٠ - ٢٢٥)
IV, IV-N	١٣٥ - ٣٠٠	(١٨٠ - ٤٠٠)

ملاحظة: مواصفات الـ (ASAE)، التطبيقات الهندسية، والبيانات كلها غير رسمية وهي استشارية فقط. استخدامها من قبل أي شخص في الصناعة أو التجارة يكون طواعية. تفترض الـ ASAE عدم مسؤوليتها للنتائج الناجمة عن تطبيق هذه المواصفات التطبيقات الهندسية والبيانات. التوافق غير مضمون الانسجام مع القوانين التطبيقية، القوانين واللوائح. المستخدمون مسؤولون عن حماية أنفسهم ضد احتمالات مخالفة براءة الاختراع.



شكل ٤,٥ . علاقات القوة والعزم لجرار عندما يشد آلة بسرعة منتظمة على أرض مستوية.

٤,١,٣ الشبك والوزن المرحل

يؤثر الشبك على كل من القوى الأفقية والرأسية بين الجرار والآلة. التأثيرات الرأسية على الجرار لها أهمية خاصة لتأثيرها على أداء الجرار. يمكن أن ترحل القوة المؤثرة على الجرار عن طريق المعدة، الشكل رقم (٥ , ٤)، من خلال قضيب الشد أو من خلال الشبك شبه المعلق أو المعلق. ويمكن الحصول على المعادلات التالية بأخذ العزوم حول النقاط (C_1) و(C_2) على الترتيب:

$$R_r = \frac{m_t\, g\, (x_1 - x_2)}{x_1} + \frac{F_{hx}\, z}{x_1} + F_{hz} \qquad (٤,١أ)$$

$$R_f = \frac{m_t\, g\, x_2}{x_1} - \frac{F_{hx}\, z}{x_1} \qquad (٤,٢أ)$$

حيث:

R_r = رد الفعل الرأسي الكلي للتربة على العجلات الخلفية للجرار، كيلونيوتن

R_f = رد الفعل الرأسي الكلي للتربة على العجلات الأمامية للجرار، كيلونيوتن

m_t = كتلة الجرار، ميجاجرام

g = تسارع الجاذبية = ٩,٨١ م/ ث٢

F_{hz} = مركبة قوة الشبك في اتجاه المحور (z)، كيلونيوتن

F_{hx} = مركبة قوة الشبك في اتجاه المحور (x)، كيلونيوتن

x_1 = المسافة بين المحور الأمامي والمحور الخلفي للجرار، م

x_2 = المسافة من مركز المحور الخلفي إلى مركز ثقل الجرار، م

Z = المسافة من الأرض إلى نقطة تقاطع رد الفعل الرأسي الكلي للتربة على العجلات الخلفية للجرار مع خط الشد، م.

تقع النقاط (C_1) و(C_2) تحت مراكز المحاور مباشرة عندما يكون الجرار واقفًا على أرض مستوية مع ($F_{hx} = 0.0$)، لكن تتحرك هذه النقاط إلى الأمام بعض الشيء نتيجة مقاومة الدوران عندما يبدأ الجرار في الحركة. تسمى القوى الرأسية على العجل والمحسوبة من المعادلتين رقمي (١ , ٤أ) و(٢ , ٤أ) عندما تكون ($F_{hx} = F_{hz}$ =0.0) بردود الفعل الاستاتيكية للعجل. تسمى الكمية (F_{hx} z / x_1) الوزن المنقول لأنها تنتقل من رد فعل العجل الأمامي وتضاف إلى رد فعل العجل الخلفي نتيجة عزم قوة الشد المنقولة خلال الشبك. وإذا كان خط الشد مائلاً كما هو موضح في الشكل رقم (٥ , ٤)، فإن جزءاً إضافيًا (F_{hz})سوف يضاف أيضًا إلى رد فعل العجل الخلفي. ويكون بعض الوزن المرحل مفيداً على الجرارات ثنائية الدفع (العجلات ثنائية الدفع، نمطيًا هي عجلات دفع خلفية) لأن مقدرة الشد في العجلات الدافعة تحدد برد الفعل الرأسي للتربة. ولذلك، فإن زيادة الوزن المنقول يجعل ($R_f = 0.0$)، مما يجعل العجلات الأمامية ترتفع عن الأرض. للجرارات رباعية الدفع (العجلات الأربع دافعة)، فإن الوزن المنقول لايكون مفيداً لأن مجهود الشد المكتسب من العجلات الخلفية يفقد عند العجلات الأمامية.

بينما تعطي المعادلتان رقما(١ , ٤أ) و(٢ , ٤أ) قيمًا محددة لردود أفعال العجل، إلا أنه من الصعب استخدامهما عمليًا. وليس من السهل قياس المسافتين (x_2) و(z) كما أن قيمتيهما تتغيران باستمرار أثناء العمليات الزراعية. لذلك، ابتكرت طريقة تقريبية لحساب ردود أفعال العجل. والمعادلتان التقريبيتان هما:

$$R_r = R_{ro} + C_{dw} \; F_{hx} \qquad (١ , ٤ب)$$

$$R_f = R_{fo} - C_{dw} \; F_{hx} \qquad (٢ , ٤ب)$$

حيث :

$R_{ro} = m_t g (x_1 - x_2) / x_1$ = رد الفعل الاستاتيكي على العجل الخلفي، كيلونيوتن

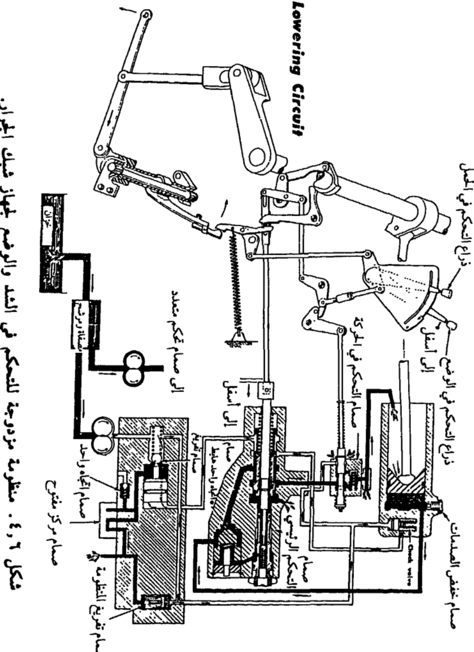
$R_{fo} = m_t g x_2 / x_1$ = رد الفعل الاستاتيكي على العجلة الأمامية، كيلونيوتن

C_{dw} = معامل الوزن الدينامي، بدون وحدات .

أوضحت الدراسات التجريبية أن القيم التجريبية لـ (C_{dw}) هي ٢٠ , ٠ ، ٤٥ , ٠ ، ٦٥ , ٠ للشبك المقطور ونصف المعلق والمعلق على الترتيب . واختيرت قيم (C_{dw}) لإدخال تأثير القوة (F_{hz}) على العجلات الخلفية؛ لذلك، فإن المعادلة رقم (٤,٢ب) تبالغ في تقدير الوزن المنقول من العجلات الأمامية .

٤ , ١ , ٤ التحكم في الشبك

تتوفر عادة أسطوانة هيدرولية أحادية الفعل لرفع الذراعين السفليين للشبك ثلاثي النقاط، بينما تتم عملية الخفض عن طريق وزن الآلة المشبوكة . في النظام الموضح في الشكل رقم (٤ , ٦)، تدير الأسطوانة عموداً متأرجحًا، وترفع الأذرع المتصلة بنهاية العمود المتأرجح الذراعين السفليين لرفع نقاط الشبك . يتوفر نظام تغذية عكسية كخاصية قياسية للشبك ثلاثي النقاط . لذلك فإن حركة نقاط الشبك سوف تحاكي حركة مقبض التحكم في الشبك . في النظام الموضح في الشكل رقم (٤ , ٦)، فإن تحريك مقبض التحكم في الوضع إلى اليسار يسحب بكرة صمام التحكم الرئيس، بادئًا سريان الزيت إلى الأسطوانة لكي يرفع نقاط الشبك . بمجرد أن ترتفع نقاط الشبك، فإن الطاقة الموجودة على الذراع المتأرجح تدفع صمام التحكم الرئيس، لذلك تتوقف حركة نقاط الشبك عند وضع متوافق مع وضع مقبض التحكم في الوضع . وبشكل عكسي، عندما يتحرك مقبض التحكم في الوضع إلى اليمين، فإن الشبك سوف يحاكي نفس الحركة في الخفض عند إطلاق الزيت من الأسطوانة بواسطة صمام التحكم .



شكل ٦,٤. منظومة مزدوجة للتحكم في الشد والوضع لجهاز شبك الجرار.

مع بداية معرفة الشبك ثلاثي النقاط، عندما كان الجرار يستخدم لشد معدة حراثة خدمة شاقة تحت ظروف حقلية متغيرة، كان على السائق رفع الشبك قليلاً عندما يكون الشد زائدًا عن الحد في التربة الثقيلة، وكان ينبغي عليه أيضًا خفض الشبك عند انخفاض الشد في التربة الخفيفة. قام المهندسون بتطوير طرق التحكم في الشبك ثلاثي النقاط لكي يتم الرفع والخفض آليًا. في الشكل رقم (٤,٦)، يستخدم قضيب التواء لكي يستشعر القوة على الذراعين السفليين، وعندما تزداد القوة، يلتوي قضيب الالتواء محركًا الذراع للسحب على بكرة صمام التحكم الرئيس ويسبب رفع الذراعين السفليين. وبشكل عكسي، فإن تضاؤل القوة في الذراعين السفليين يسبب خفضهما. تمامًا، وعند استخدام مقبض التحكم اليدوي لاختيار الوضع المطلوب للذراعين السفليين، يستخدم مقبض التحكم في الشد لتحديد قيمة القوة المرغوبة. في بعض الجرارات الصغيرة، يتم استشعار الشد عن طريق استشعار قوة الضغط في الذراع العلوي. بينما في الجرارات الكبيرة الحديثة، تم استبعاد قضيب الالتواء والأذرع الآلية. ويتم استشعار القوة على الذراعين السفليين باستخدام مسامير مجهزة بوحدات قياس تستشعر قوة القص على نقطتي الذراعين السفليين. يستخدم الجهد الكهربائي الصادر من وحدات القياس على مسامير الذراعين للتحكم في صمام هيدرولي يعمل بالكهرباء والذي يتحكم بدوره في رفع وخفض الشبك.

٤,٢ الإطارات والشد

قد تنقل قدرة محرك الجرار خلال عمود مأخذ القدرة، النظام الهيدرولي أو من خلال الشبك. والأخير هو تقريبًا أكثر الوسائل المعروفة لنقل قدرة الجرار، وتحدد كفاءة النقل بكفاءة الشد. لذلك، أصبحت ميكانيكا الشد التي تدعم تصميم أجهزة الشد ذات الكفاءة محل اهتمام كبير. وتمثل الإطارات أجهزة الشد المأخوذة في الاعتبار في هذا الكتاب. عندما يعمل إطار على تربة فإن التربة يجب أن تنضغط كي تكتسب مقاومة كافية لتوفير قوة شد كبيرة للعجلة. ويتم الانضغاط عن طريق الحركة النسبية بين التربة والإطار. وبالتتابع، يجب أن يحدث بعض الانزلاق للعجل ليوفر الشد، ولكن الانزلاق الزائد عن الحد يقلل الكفاءة. وتوفر ميكانيكا الشد وسائل

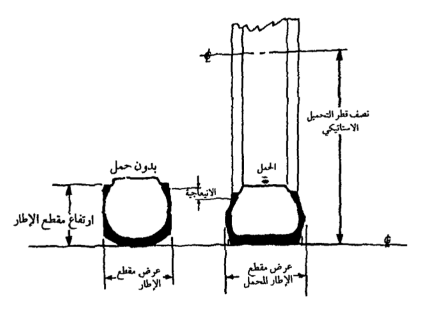
لإيجاد الانزلاق الأمثل للعجل. تمثل مقاومة التربة عاملاً هامًا في ميكانيكا الشد، ويعبر عنها بدليل المخروط.

١,٢,٤ أساس تصميم الإطار

الأبعاد المرتبطة بالإطار موضحة في الشكل رقم (٤,٧). نسبة الإطار الباعية هي ارتفاع مقطع الإطار مقسومًا على عرض مقطعه. وتتراوح النسبة النموذجية لارتفاع الإطار إلى عرضه من ٠,٧٥ أو أقل للإطارات ذات القالب الصغير إلى ١,٠ أو أكبر للإطارات ذات القالب الكبير. تنبعج الإطارات الزراعية نمطيًا بحوالي ١٩٪ من ارتفاع مقطع الإطار عند الضغط المقرر للعجل عندما يؤثر عليها الحمل الرأسي المقرر، ولذا فإن نصف القطر المحمل، الشكل رقم (٤,٧) يكون أقل من نصف القطر الخارجي للإطار. وبمجرد أن يتشكل الإطار تحت الحمل، فإن ارتفاع مقطع الإطار يقل ويزداد العرض. أبعاد الإطار المحمل الموضحة في الشكل رقم (٤,٧) هي لإطار غير متحرك. توزيع الإجهادات على الإطار المتحرك تسبب زيادة الارتفاع قليلاً ولذلك يكون نصف قطر الدوران أكبر نوعًا ما من نصف القطر الاستاتيكي المحمل. لم تحول بعد بيانات الجرارات الزراعية إلى القياسات المترية. لذلك، يعطى مقاس الإطار بالبوصة. اعتبر الإطار التالي، على سبيل المثال:

٢٠,٨ - ٣٢، ٨

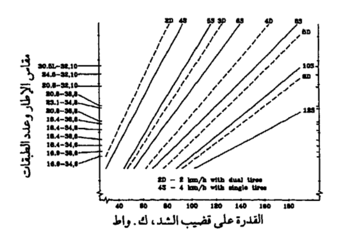
يمثل الرقم الأول عرض مقطع الإطار بالبوصة، ويمثل الرقم الثاني قطر الإطار الداخلي المعدني بالبوصة، ويدل الرقم الثالث على عدد طبقات التيل. والإطار في المثال السابق له عرض مقطع مقداره ٢٠,٨ بوصة، وقطر الإطار الداخلي المعدني ٣٢ بوصة، وله ٨ طبقات من التيل.



شكل ٤,٧ . أبعاد الإطار الخارجي والإطار الداخلي المعدني.

يحدد مصنعو الإطارات سعة التحميل لإطاراتهم. وتزداد سعة التحميل بزيادة مقاس الإطار، وعدد الطبقات، وضغط الهواء داخل الإطار. وتؤثر السرعة الأمامية على معدل التحميل، لذلك قام مصنعو الإطارات الزراعية بنشر مجموعتين من جداول معدل التحميل. أحد هذه الجداول للسرعات التي تزيد على ٣٢ كم/ ساعة والآخر للسرعات التي تقل عن ٨ كم/ ساعة. تستخدم الإطارات ذات البروزات في تحويل عزم المحور إلى شد، على إطار معين، يجب المحافظة على أقصى شد مماس على الإطار داخل الحدود المسموح بها. لذا، فإن القدرة على قضيب الشد يجب أن تكون مقيدة للمحافظة على عقد (وحدة) الإطار (الحافة الداخلية للإطار الملامسة مع الحافة الخارجية للإطار المعدني) من الانزلاق على الإطار الداخلي المعدني أو انبعاج الجدار الجانبي للإطار. يوضح الشكل رقم (٨, ٤) استخدام الإطارات المزدوجة بغرض زيادة قوة الشد المماسة المقيدة لقدرة قضيب الشد. وهذا الشكل للإطارات ذات الترتيب المنحرف للتيل على الجرارات ثنائية الدفع، على سبيل المثال، إذا كانت هناك إطارات مقاساتها ٨, ٢٠-٣٤،٨ مركبة

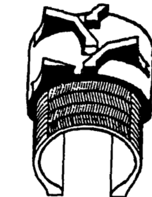
على المحور الخلفي، فإن أقصى قدرة مسموح بها على قضيب الشد تكون ٥٥ كيلوواط عندما يعمل الجرار بسرعة ٤ كم/ س مع إطارات مفردة على كل محور خلفي. الشد باستخدام الإطارات المزدوجة (اثنان مقاس ٨, ٢٠-٣٤، ٨ طبقة على كل محور خلفي) عند سرعة ٤ كم/ س يزيد القدرة المسموح بها على قضيب الشد إلى ٩٦ كيلوواط. يلاحظ أنه، عند سرعة معينة، القدرة المسموح بها عند استخدام الإطارات الثنائية المزدوجة لاتكون ضعف القدرة المسموح بها عند استخدام الإطارات المفردة، أعاد مصنعو الإطارات تقدير الشد المماس على كل إطار بنسبة ١٢٪ عند استخدام الإطارات المزدوجة، و١٨٪ عند استخدام الإطارات الثلاثية. ويمكن أيضًا زيادة القدرة المسموح بها على قضيب الشد بزيادة السرعة الأمامية. يوضح الشكل رقم (٨, ٤) أنه عند استخدام إطارات ذات مقاس ٨, ٢٠-٣٤، ٨ طبقة، ومفردة، على سبيل المثال، فإن القدرة المسموح بها على قضيب الشد تزيد من ٥٥ كيلوواط إلى ١١٠ كيلوواط عند زيادة السرعة الأمامية من ٤ إلى ٨ كم/ س.



شكل ٨, ٤. قوة الشد المماسة المحددة لقدرة قضيب الشد.

تمت المناقشة سابقًا عن الإطارات الزراعية ذات الترتيب المنحرف للتيل، لكن تتوفر أيضًا الإطارات ذات الترتيب نصف القطري. يوضح الشكل رقم (٩, ٤) الاختلافات بين بناء هذين النوعين من الإطارات. ففي البناء ذي الترتيب المنحر ف،

يرتب التيل داخل الإطار قطرياً عبر الإطار من عقد (الحافة المحدبة) إلى عقد . أما مع البناء ذي الترتيب نصف القطري ، فإن التيل يرتب عمودياً على عقد العجلة (الحافة المحدبة) . ويكون الحزام ممتداً بين التيل والنعل ليمنع انثناء الإطار ذي الترتيب نصف القطري . يسمح البناء ذو الترتيب نصف القطري بزيادة الانبعاج القطري وزيادة الانزلاق الجانبي مقارنة مع الإطارات ذات الترتيب المنحرف . لذا فإن الإطارات ذات الترتيب نصف القطري يكون لها مساحة تلامس (أثر العجلة على الأرض) كبيرة ، ويؤدي ذلك إلى زيادة الشد بنسبة ١٠٪ تقريباً عند انزلاق معين أو مايتراوح من ١٥ إلى ٢٠٪ انزلاق أقل عند شد معين بالمقارنة مع الإطارات ذات الترتيب المنحرف .




الطبقات نصف القطرية ذات الأربطة - الطبقات المنحرفة

شكل ٤,٩ . الإطارات الزراعية ذات الترتيب نصف القطري وذات الترتيب المنحرف.

تحتوي الإطارات المبينة في الشكل رقم (٤,٩) على بروزات مطاطية (كعوب) على النعل الخارجي لتوفر مقدرة شد أفضل على الأرض الخفيفة . وتتوفر الإطارات الزراعية التي ليس لها بروزات لإطارات المعدات المقطورة أو لإطارات الجرار التي لاتمثل مصدراً للقدرة . أقرت صناعة الإطارات الرموز المدونة في الجدول رقم (٤,٢) لتبين الأنواع المختلفة للإطارات . تحتوي الإطارات التي تأخذ الرمز (R) فقط على بروزات ، لتوضح أنها للإطارات الخلفية على الجرارات ثنائية الدفع .

ويمكن استخدام هذا النوع أيضًا للعجلات الأمامية في الجرارات رباعية الدفع .

جدول ٢,٤ . الرمز الصناعي القياسي لأنواع الإطارات.

نوع الإطار	الرمز
الإطارات الأمامية للجرارات	
مداس الأرز	F - 1
مداس مضلع مفرد	F - 2
مداس مضلع مزدوج	F - 2D
مداس مضلع ثلاثي	F - 2T
مداس صناعي	F - 3
جرارات دفع على العجل الخلفي	
عجلة خلفية ، مداس عادي	R - 1
قصب السكر والأرز، مداس عميق	R - 2*
ضحل ، مداس غير محدد الاتجاه	R - 3
للصناعة - مداس متوسط	R - 4
معدات	
مداس مضلع	I - 1
مداس السحب	I - 3
العجلة الخلفية للمحراث	I - 4
مداس أملس	I - 6
إطارات (صناعية)	
مضلعة	E - 1
سحب	E - 2
متأرجحة	E - 3
متأرجحة ذات مداس عميق	E - 4
متأرجحة متوسطة	E - 5
متأرجحة عظمى	E - 6
عائمة	E - 7

* يحتوي أيضًا بروزات لـ(G) و (L) و سلسلة التصنيفات (ML) .

والمصطلحان "ذات بروز، بدون بروزات" أكثر وصفًا للإطارات، ولكن مازال

الرمز (R) يستخدمه مصنعو الإطارات للدلالة على الإطارات ذات البروزات. الإطارات ذات الرمز (R-2) لها بروزات أطول من تلك ذات الرمز (R-1) وذلك لتوفير الشد المناسب في الظروف الرطبة التي تواجه عملية التشغيل في إنتاج الأرز. يستخدم الحرف (F) في الجدول رقم (٢ , ٤) ليبين العجلات الأمامية، والتي هي، الإطارات المستخدمة على العجلات الأمامية للجرارات ثنائية الدفع. تأخذ الإطارات التي تستخدم مع المعدات المقطورة الرمز (I)، أما الإطارات الصناعية التي لاتستخدم في عمليات النقل على الطرق فتأخذ الرمز (E).

قد يتوفر تقدير مبدئي فقط لأحمال الإطارات في البداية عند اختيار إطارات الجرار أو الآلة في عملية التصميم. إن من الترتيبات الجيدة أن يكون اختيار الإطار مبنيًا على أساس العدد الأقل من الطبقات المقررة وذلك عند اختيار إطار يمكن أن يناسب الحيز المتاح ويحمل الحمل المقرر. يجب أيضًا أن تعطى الإطارات مساحة تلامس كبيرة وكافية لحمل الأحمال الرأسية بدون زيادة الغرز (الغطس) في الأراضي الخفيفة. ويجب أن تكون الإطارات على العجلات الدافعة قادرة على نقل القيمة المطلوبة من القدرة بدون زيادة حدود الشد المماسية. لذلك، توجد عوامل كثيرة تؤثر على الاختيار المبدئي للإطار. وإذا كان تحسين التصميم يوضح زيادة حمل الإطار، يمكن اختيار عدد طبقات أكثر لتوفير سعة تحمل زائدة بدون زيادة مقاس الإطار.

٤,٢,٢ نماذج الشد

ابتكرت المعادلات التي تحكم الشد للعجلات الفردية خاصة، ولكن يمكن جمع نفس المعادلات داخل نموذج الشد لمركبة كاملة. تربط نسبة الشد الكلية بين العزوم والقوى على عجلة، انظر الشكل رقم (٥ , ٤)، وعوامل العجلة بالتربة، أي:

$$\frac{T_i}{r_{Li}\, R_i} = C_{gi} = 0.88\left(1 - e^{-0.1\, B_{ni}}\right)\left(1 - e^{-k_1 s}\right) + k_2 \qquad (٤ , ٣)$$

حيث:

B_{ni} = ترقيم العجلة، انظر المعادلة رقم (٤ , ٤)

T_i = الشد – العزم المحدد على العجلة، نيوتن . م

i = (f) للعجلة الأمامية، (r) للعجلة الخلفية

r_{Li} = نصف القطر الاستاتيكي المحمل للعجلة (i)، م

R_i = الحمل الديناميي الرأسي على العجلة، كيلونيوتن

C_{gi} = نسبة الشد الكلي للعجلة (i)، بدون وحدات

k_1 = ثابت = ٧,٥ للإطارات ذات التيل ذي الترتيب المنحرف، أويتراوح من ٨,٥ إلى ١٠,٥ للإطارات ذات الترتيب نصف القطري.

k_2 = ثابت = ٠,٠٤ للإطارات ذات التيل ذي الترتيب المنحرف، أو يساوي ٠,٠٣٥ للإطارات ذات الترتيب نصف القطري.

S = انزلاق العجل، كسر عشري.

العزم المحسوب باستخدام المعادلة رقم (٤,٣) هو أقصى عزم يمكن دعمه عن طريق الشد. إذا حاول المحرك وناقل القدرة إعطاء عزم أعلى، فإن عزم العجلة سوف يزداد بعض الشيء حتى يصل انزلاق العجل إلى حده الأقصى، ولكن لن يزيد بعد ذلك. يلاحظ أنه، عند قيمة معينة لـ(C_{gi}) يزداد العزم بعلاقة مباشرة مع الحمل الديناميي على العجل. أيضًا، تزداد (C_{gi}) مع انزلاق العجل ومع (B_{ni}). يعرف رقم العجلة (B_{ni}) كالتالي:

$$B_{ni} = \frac{CI_i \; b_i \; d_i}{1000 \, R_i} * \frac{1 + 5 \, \delta_i \, / \, h_i}{1 + 3 \, r_A} \qquad (٤,٤)$$

حيث:

B_{ni} = ترقيم العجلة (i)، بدون وحدات

CI_i = دليل المخروط المؤثر للعجلة (i)، نيوتن/م٢

b_i = عرض مقطع العجلة (i)، م

d_i = القطر الخارجي للعجلة (i)، م

δ_i = انبعاج الإطار (i) نتيجة الحمل الرأسي، م

h_i = ارتفاع مقطع العجلة (i)، م

r_A = النسبة الباعية = ارتفاع المقطع/ عرض المقطع.

ترقيم العجلة هو حاصل ضرب جزءين ليس لهما وحدات. يمثل البسط في الجزء الأول مقياس سعة التحميل للتربة، بينما يعطي المقام الحمل الحقيقي. أما الجزء الثاني الذي بدون وحدات فهو عبارة عن معامل تصحيح لكي يأخذ في الاعتبار تشكل الإطار تحت الحمل. كما أن المعادلة رقم (٤ , ٤) توضح أن (B_{ni}) تزداد مع زيادة مقاومة التربة، قطر العجلة، عرض الإطار وانبعاج الإطار. ويمكن إيجاد الكميات (b_i)، (d_i)، (r_{Li}) من المواصفة القياسية للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم (S 220) وذلك لإطارات معينة. إذا لم تكن المواصفة القياسية متاحة أو أن الإطارات غير مدونة في المواصفات القياسية، يمكن حساب كل من (d_i)، (r_{Li}) من مواصفات مقاس العجلة باستخدام المعادلتين التاليتين:

$$d_i = 25.4\left(d_{nri} + 2\, r_A\, b_{ni}\right) \qquad (٤ , ٥)$$

$$r_{Li} = 25.4\left(\frac{d_{nri}}{2}\; 0.81\, r_A\, b_{ni}\right) \qquad (٤ , ٦)$$

حيث:

d_{nri} = القطر الداخلي الاسمي للإطار المعدني (i)، بوصة

b_{ni} = العرض الاسمي للمقطع، بوصة.

لاحظ أن تضمين المعادلة السابقة للمعامل (٤ , ٢٥) يكون لتحويل مواصفات الإطار من البوصة إلى م. وتبنى المعادلة رقم (٦ , ٤) على فرض أن انبعاج الإطار يمثل ١٩٪ من ارتفاع المقطع. ويجب استخدام النسبة الباعية التالية في المعادلتين رقمي (٥ , ٤) و(٦ , ٤) لأنواع الإطارات ذات الشكل الصغير (R-1) و(R-2) (موضح بواسطة حرف (L) في اختيار مقاس العجل)، تستخدم نسب باعية قدرها ٧٠ , ٠ ؛

ولأنواع الإطارات الأخرى من (R-1) و(R-2) تستخدم نسب باعية قدرها ٠,٨٥؛ وتستخدم نسب باعية قدرها ٠,٧٨ للشكل الصغير (F) أو (I) من الإطارات (موضح بواسطة حرف (L) بعد العرض في مواصفات القياس)؛ وللأنواع الأخرى من تصنيف الإطارات (F) أو(I)، استخدم نسب باعية قدرها ١,٠١؛ وتسمح تلك الاختيارات للنسب الباعية وانبعاج الإطار بصفة عامة بحساب (d_i) و(r_{Li}) بنسبة خطأ أقل من ١٠٪.

يمكن حساب عاملين آخرين من عوامل الإطار باستخدام المعادلتين التاليتين:

$$\delta_i = \frac{d_i}{2} - r_{Li} \qquad (٤,٧)$$

$$h_i = \frac{d_i - 25.4\ d_{nri}}{2} \qquad (٤,٨)$$

وتعرف نسبة مقاومة الحركة (ρ_i) كالآتي:

$$\frac{R_{mi}}{R_i} = \rho_i = k_2 + \frac{k_3}{B_{ni}} + 0.5\ S\ B_{ni}^{-0.5} \qquad (٤,٩)$$

حيث:

R_{mi} = قوة مقاومة الحركة على العجلة(i)، كيلونيوتن، انظر الشكل رقم (٤,٥)

k_3 = ثابت = ١,٠ للإطارات ذات التيل ذي الترتيب المنحرف، أو = ٠,٩ للإطارات ذات التيل ذوالترتيب نصف القطري

ρ_i = معامل مقاومة الحركة للعجلة (i)

S = انزلاق عجلات الدفع أو تكون صفراً للعجلات غير الدافعة.

تطرح مقاومة الحركة من نسبة الشد الكلي للحصول على نسبة الشد الصافي (C_{ni}) للعجلة (i)، بمعنى:

$$C_{ni} = C_{gi} - \rho_i \qquad (٤,١٠)$$

ويعرف الانزلاق كالتالي:

$$S = 1 - \frac{V_a}{V_{ti}} \qquad (٤,١١)$$

حيث:

V_a = السرعة الحقيقية لحركة المركبة، م/ث

V_{ti} = السرعة النظرية لحركة العجلة (i)، م/ث.

يمكن حساب السرعة النظرية من سرعة المحرك، نصف قطر الإطار، ونسبة تخفيض السرعة في ناقل الحركة، كالتالي:

$$V_{ti} = \frac{\pi \, n_e \, r_{Li}}{30000 \, N_{pti}} \qquad (٤,١٢)$$

حيث:

ne = سرعة المحرك، لفة/دقيقة

N_{pti} = نسبة تخفيض السرعة في ناقل القدرة.

كفاءة الشد (η_{ti}) عبارة عن النسبة بين قدرة الشد الخارجة من العجلة (i) مقسومة على القدرة الدورانية الداخلة، أي:

$$\frac{(R_{ti} - R_{mi}) V_i}{T_i \, \omega_i} = \eta_{ti} = \frac{(1 - S_i) \, C_{ni}}{C_{gi}} \qquad (٤,١٣)$$

حيث:

R_{ti} = قوة الشد على العجلة (i)، كيلونيوتن، انظر الشكل رقم (٤,٨)

η_{ti} = كفاءة الشد للعجلة (i)، بدون وحدات

ω_i = السرعة الدورانية للعجلة (i)، ز/ث.

ويمكن استخدام المعادلات السابقة لحساب أداء الشد لمركبة كاملة. بجمع القوى في اتجاه المحور (x) في الشكل رقم (٥ ، ٤):

$$F_{hx} = C_{nr} R_r + C_{nf} R_f \qquad (٤ ، ١٤)$$

عند تطبيق المعادلة رقم (١٤ ، ٤)، تكون (R_r) هي الحمل الديناميكي المجمع على كل العجلات على المحور الخلفي، بينما تكون (R_f) هي الحمل المجمع على كل العجلات الأمامية. ويجب أن تكون قيمة (b_i) في المعادلة رقم (٤ ، ٤) هي العرض المجمع لكل الإطارات على المحور (i). وتكون المعادلة رقم (١٣ ، ٤) صحيحة للمركبات ثنائية أو رباعية الدفع. للمركبات ثنائية الدفع، (C_{gi}) تساوي صفرا لكل العجلات غير الدافعة بينما تحسب (V_{ti}) للعجلات الدافعة فقط.

يلاحظ أنه، لقيمة معينة لـ (S) فإنه يجب حساب (F_{hx}) على مراحل متكررة لأن (B_{ni}) لكل محور تعتمد على الوزن الديناميكي على نفس المحور، ويعتمد الوزن الديناميكي على الوزن المنقول، ويعتمد الوزن المنقول على (F_{hx}). والإجراء المناسب هو فرض الوزن المنقول يساوي صفراً في المرحلة الأولى، والتي تسمح بحساب قيمة أولية لـ (F_{hx}). ويمكن استخدام تلك القيمة في المعادلتين رقمي(٤،١ب) و(٤،٢ب) لإيجاد الأوزان الديناميكية الجديدة، والتي يمكن بعدها حساب قيمة جديدة لـ(F_{hx}). بعد قليل من المحاولات، سوف تتقارب قيم (F_{hx}) إلى أن تصل إلى قيمة ثابتة. وإذا وصل رد الفعل الديناميكي على المحور الأمامي إلى الصفر أثناء المحاولات، فإن الوزن الكلي للجرار يكون محمولاً على المحور الخلفي ولاداعي لمحاولات أخرى.

ماهي قيمة الانزلاق التي يجب استخدامها في الحسابات؟ الشكل رقم (٣ ، ٤) يمثل (C_{gi}) وبالتالي، تزيد (F_{hx}) مع الانزلاق. يزداد الشد لمعظم الآلات التي

لها اتصال بالتربة مع السرعة لكن، حيث إن الانزلاق يقلل السرعة الأمامية، فإن زيادة الانزلاق يقلل قيمة الشد للمعدة. لذا، عندما تضاف معادلة لحساب قوة الشد لمعدة (انظر بيانات الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم (D 497) لمثل تلك المعادلات) إلى نموذج الشد عاليه، يتم حل النموذج على مراحل. سوف يتقارب الحل لتركيبة الجرار والآلة معًا إلى قيمة معينة للانزلاق المتوازن (S_e) . وقد لاتعطي نسبة الانزلاق المتوازن المحسوبة (S_e) كفاءة شد عظمى، لذا، قد يكون من المرغوب أن نغيرها حتى تصل إلى أقصى قيمة لكفاءة الشد (η_t) . ويمكن أن تزيد قيمة (S_e) عن طريق إزالة أثقال الموازنة لتقليل الأحمال الرأسية على العجلات الدافعة أو بزيادة قوة الشد للمعدة، بمعنى أنه، يجب استخدام معدات أكبر. ويمكن تقليل الـ(S_e) عن طريق المقاييس العكسية. والهدف من الشد هو نقل القدرة على قضيب الشد، والتي يمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$P_{db} = V_a F_{hx} \qquad (٤ , ١٥)$$

حيث (P_{db}) = القدرة على قضيب الشد، كيلوواط. زيادة (V_a) تقلل من (F_{hx}) وبالتالي تقلل من أثقال الموازنة اللازمة لنقل قيمة معينة من القدرة على قضيب الشد. لمنع التحميل الزائد للجرار والكبس الزائد للتربة، ويوصى بأن تساوي (V_a) على الأقل ٢ م/ث أو ٢ , ٧ كم/ساعة.

يقاس دليل المخروط الفعال بواسطة دفع مخروط الاختراق داخل التربة. والأبعاد القياسية لمخروط الاختراق وإرشادات الاستخدام معطاة في المواصفة القياسية رقم (S 313) للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين. يتغير دليل المخروط مع العمق لكن، بأخذ متوسط قيم دليل المخروط لأول ١٥٠ مم من العمق، نحصل على دليل المخروط الفعال للاستخدام في المعادلة رقم (٤ , ٤) للعجلات التي تعمل في تربة غير مثارة. نموذجيًا، تتراوح دلائل المخروط المؤثرة من ٣٣ , ٠ نيوتن/م^2 للتربة الخفيفة إلى ٠ , ١ نيوتن/م^2 للتربة الثقيلة. إذا سارت العجلات الخفيفة في نفس مسار العجلات الأمامية، نجد أن دليل المخروط الفعال للعجلات الخلفية يزداد

نتيجة الكبس الذي حدث بواسطة العجلات الأمامية. ويمكن استخدام المعادلة التالية لتقدير دليل المخروط الفعال للعجلات الخلفية:

$$\frac{CI_a}{CI_b} = 1 + 1.8\, e^{-0.11\, B_n} \qquad (٤,١٦)$$

حيث:

CI_b = دليل المخروط الفعال قبل مرور العجلة، نيوتن/ م٢

CI_a = دليل المخروط الفعال بعد مرور العجلة، نيوتن/ م٢ .

٤,٣ انضغاط التربة

يؤدي مرور العجلات على التربة الزراعية إلى انضغاط التربة، والتي تمثل، زيادة في دليل مخروط التربة كما هو موضح بالمعادلة رقم (٤,١٦) وزيادة مصاحبة في كثافة التربة. دليل المخروط مقياس مركب لمقاومة التربة وهو دالة لقوام التربة، والكثافة، والرطوبة. لاتتوفر إلى الآن علاقة ثابتة للترب الحقلية، لكن ابتكر كل من (Ayers and Perumphral, 1982) معادلة لربط كثافة التربة مع دليل المخروط والمحتوى الرطوبي للتربة للعديد من الترب الصناعية. وتتكون الترب الصناعية من مخاليط من الرمل الزركوني والطين الناري والماء. والمعادلة التالية تكافىء المعادلة المقدمة من (Ayers and Perumphral):

$$\frac{\rho_d}{\rho_{do}} = \left\{ \frac{CI}{CI_o} \left[1 + C_o \left(\frac{m_s}{m_{so}} - 1 \right)^2 \right] \right\}^n \qquad (٤,١٧)$$

حيث:

ρ_d = كثافة التربة الجافة، ميجاجرام/ م٣

ρ_{do} = الكثافة المرجعية للتربة، ثابتة، ميجاجرام/ م٣

CI = دليل مخروط التربة، كيلوبسكال

CI_o = دليل المخروط المرجعي، ثابتة، كيلوبسكال

m_s = المحتوى الرطوبي للتربة، نسبة مئوية، على أساس جاف

m_{so} = المحتوى الرطوبي المرجعي، ثابتة، نسبة مئوية

C_o, n = ثوابت بدون وحدات.

تعتمد الثوابت الخمس في المعادلة رقم (٤, ١٧) على نوع التربة. وبالرغم من عدم توفر هذه القيم للترب الحقلية. يعطي أحد تمارين الواجب المنزلي بيانات لتوضيح استخدام هذه المعادلة مع الترب الصناعية.

يؤدي الانضغاط إلى زيادة كثافة التربة، لكن يكون تأثير كثافة التربة على نمو وإنتاجية المحاصيل معقداً. ففي مواسم النمو الجافة نسبيًا، قد تساعد زيادة كثافة التربة على احتفاظ جذور النبات باتصالها مع المحتوى المائي وتوفر إنتاج محصولي وفير. وبشكل عكسي، في المواسم الرطبة، يعوق الصرف الداخلي بواسطة التربة الكثيفة وقد تقل إنتاجية المحصول. حتى داخل موسم نمو معين، اقترح (Vomicil, 1958) علاقة تربط بين إنتاجية المحصول وكثافة التربة والتي يمكن التعبير عنها كالتالي:

$$\frac{Y}{Y_i} = 1 - C_y \left(\frac{\rho_d}{\rho_{di}} - 1\right)^2 \qquad (٤, ١٨)$$

حيث:

Y = الإنتاجية الفعلية للمحصول

Y_i = إنتاجية المحصول عند الكثافة المثلى للتربة

ρ_d = الكثافة الجافة الحقيقة للتربة، ميجاجرام/ م٣

ρ_{di} = الكثافة الجافة المثلى للتربة، ميجاجرام/ م٣

C_y = ثابت التربة والمحصول والمناخ.

لاحظ من المعادلة رقم (٤, ١٨) أن ($Y = Y_i$) عندما ($\rho_d = \rho_{do}$) وأن الإنتاجية تقل مع قيم أصغر أو أكبر لكثافة التربة الجافة الحقيقية (ρ_d) تتوفر كمية بيانات محددة مع أحد تمارين الواجب المنزلي لتوضيح استخدام المعادلة رقم (٤, ١٨).

٤ , ٤ مؤازرات الشد

يتوفر عدد من الأساليب المستخدمة لزيادة كفاءة أداء الشد للجرار . ويتمثل أحد الأساليب القديمة في استخدام عجلات ثنائية أو ثلاثية على كل محور خلفي للجرار ثنائي الدفع . ولقد أوضحت الدراسات الدقيقة أن استخدام العجلات الثنائية أو الثلاثية يوفر زيادة بسيطة في (C_{ni}) أو في (η_t) . وبالتالي فإن العجلات الثنائية أو الثلاثية تزيد من سعة التحميل كما تم مناقشته في الجزء رقم (١ , ٣ , ٤)، لذلك، يسمح بأحمال دينامية أكبر على المحاور الدافعة وبالتالي شد أكبر على قضيب الشد. في الأراضي الخفيفة، تقلل أيضًا العجلات الثنائية أو الثلاثية من غرز العجلات داخل التربة. وإذا استخدمت أي من الإطارات الأحادية، الثنائية أو الثلاثية، فإن استخدام أحمال محورية زائدة يؤدي إلى زيادة كبس التربة. ويمكن تجنب كبس التربة كما يمكن خفض جهد المحور باستخدام سرعات تبدأ من ٢ , ٧ كم/ ساعة أو أعلى. وكما توضح المعادلة رقم (١٥ , ٤)، فإن استخدام سرعات عالية يقلل من الشد المطلوب للوصول إلى مستوى قدرة معين على قضيب الشد.

في بداية الأمر، كانت العجلات الخلفية هي الدافعة فقط في الجرارات ثنائية الدفع؛ وكانت العجلات الأمامية تنتج مقاومة حركة ولذا كانت تساهم بشد سالب على الجرار. تستخدم طريقتان لإدارة كل من العجلات الأمامية والخلفية. ففي الجرارات المصممة على أنها رباعية، تكون كل عجلاتها دافعة. وتكون كل العجلات متساوية في المقاس، وتسير العجلات الخلفية في نفس مسارات العجلات الأمامية. يزيد دعم التربة (تقوية التربة الناتجة من مرور العجلات الأمامية) التي يوفرونها، انظر الشكل رقم (١٤ , ٤)، من سعة الشد للعجلات الخلفية. حديثًا جدًا، تم تصميم الجرارات ذات الدفع الأمامي المساعد (FWA) (والاسم البديل هو (MFWD)، الجرارات ذات الدفع الأمامي الآلي) كجرارات ذات دفع ثنائي مع وجود فرص اختيار لعجلات أمامية مساعدة. وتكون السرعات المحيطية للعجلات الأمامية والخلفية تقريبًا متساوية (متوافقة) مع زيادة بسيطة في السرعة المحيطية للعجل الأمامي.

تكون العجلات الأمامية للجرارات ذات الدفع الأمامي المساعد متوسطة في

المقاس وتقع مابين العجلات الأمامية التقليدية، غير الدافعة، والعجلات الدافعة؛ وتجهز أيضًا العجلات الأمامية في الجرارات ذات الدفع الأمامي المساعد ببروزات للمعاونة في الشد. وحيث إن الإطارات الخلفية للجرارات ثنائية الدفع ذات الدفع الأمامي المساعد غالبًا ماتكون أعرض من الإطارات الأمامية، فيجب أن تشكل العجلات الخلفية جزءاً من الأخدود الخاص بها وتعطي المعادلة رقم (١٤ , ٤) تقديراً أعلى إلى حد ما لدليل المخروط الفعال للإطارات الخلفية.

يتوزع الوزن المثالي تبعًا لنوع الجرار. للجرارات ثنائية الدفع، يلزم وزن دينامي كاف فقط على المحور الأمامي لتوفير توجيه موثوق به. مع الوزن المنقول النموذجي، يتم الوصول إلى التوجيه المناسب إذا كان مابين ٢٥ إلى ٣٠٪ من الوزن الاستاتيكي تقريبًا محمولاً على المحور الأمامي، للجرارات رباعية الدفع، تقريبًا من ٥٥ إلى ٦٠٪من الوزن الاستاتيكي يكون محمولاً على المحور الأمامي. حينئذ يولد الوزن المنقول حملاً ديناميًا متساويًا تقريبًا على المحورين الأمامي والخلفي. ويعتمد اتزان الجرارات (أثقال الموازنة التي توضع على الجرار) ذات الدفع الأمامي المساعد على استخدامها. عندما يفضل الدفع الأمامي المساعد الاختياري للجرار، يجب أن توضع أثقال موازنة مثل الجرار ثنائي الدفع. وبشكل عكسي، عندما يتم توصيل الدفع الأمامي المساعد، يجب أن تكون الأثقال مثل التي توضع على الجرار رباعي الدفع.

لكي نسمح باستخدام أثقال أكثر في تقليل الغرز في الترب الخفيفة، تجهز بعض الجرارات ذات الدفع الأمامي المساعد بعجلات ثنائية أو ثلاثية على محاورها الخلفية، لكن تتطلّب اعتبارات التوجيه بصفة عامة استخدام عجلات مفردة على كل محور أمامي. تحتوي معظم الجرارات الدافعة على توجيه مفصلي، بمعنى أن الجرار له مفصل رأسي بين المحاور الأمامية والخلفية والتي تسمح لتلك المحاور بالحركة خارج التوجيه الموازي من أجل الدوران. وقد تجهز مثل تلك الجرارات على كل من المحاور الأمامية والخلفية بإطارات ثنائية أو ثلاثية، بمعنى أنه، قد يكون هناك ٨ أو ١٢ إطاراً على الجرار. وكما ذكر سابقًا، تتمثل مميزات استخدام الإطارات الثنائية أو الثلاثية في أنها تقلل الغرز في الترب الخفيفة وتسمح باستخدام أثقال

موازنة أكثر لزيادة الشد.

يؤثر تصميم الإطارات الفردية على الشد. وقد تم عمل دراسات لمعرفة تأثير ارتفاع البروز، زاوية البروز، وعدد البروزات على الإطار. استخدمت الإطارات ذات التيل ذي الترتيب المنحرف في البداية، لكن انتشرت الإطارات ذات التيل ذي الترتيب نصف القطري في الوقت الحاضر في استخدامات معدات المزرعة. وأوضحت بعض الدراسات أن الإطارات ذات الترتيب نصف القطري توفر تحسينًا جوهريًا في معامل الشد الصافي. لاحظ أنه في نظرية الشد الآلية، تختلف ثوابت الشد (k_1, k_2, k_3) للإطارات ذات الترتيب المنحرف. لذا يستطيع القارىء استخدام معادلات الشد الآلية ليحدد الاختلافات في الأداء بين الإطارات ذات الترتيب نصف القطري والإطارات ذات التيل ذي الترتيب المنحرف تحت الظروف المختلفة من تحميل الجرار وقوة تحمل التربة.

فى البلدان التي يزرع فيها الأرز فى حقول مغمورة بالماء، سوف تكون دلائل المخروط الفعالة للتربة نموذجيًا أقل من ٥,٠ نيوتن / م^{٢}. ويصبح أداء الإطارات التقليدية غير مقبول في مثل تلك الظروف بسبب الانزلاق العالي للعجل والتصاق التربة اللزجة بالإطارات. ويتمثل أحد الحلول في استخدام إطارات ذات بروزات عالية جداً. وهناك حل آخر يتمثل في تركيب عجلة مساعدة إضافية ذات بروزات معدنية إلى جانب كل إطار، فالبروزات المعدنية تحسن من أداء الشد، وللنقل على الطرق، قد تطوى (ترفع) لتجنب التلامس مع سطح الطريق.

٤,٥ اختبار الجرار

٤,٥,١ المبادىء الأساسية لاختبار الجرار

يمدنا اختبار الجرار بالبيانات التي قد تستخدم في مقارنة أداء طرز ونماذج مختلفة من الجرارات. وعندما تتم اختبارات مقارنة بواسطة وكالات مستقلة عن مصنعي الجرارات، فإن التنافس الناتج بين المصنعين يؤدي أيضًا إلى تشجيع عمليات التحسين في تصميمات الجرار. كانت الوكالة المستقلة الأصلية لإجراء اختبار

الجرارات هى جامعة نبراسكا، معمل اختبار الجرارات (NTTL) . تم تفويضه (منح المعمل السلطة) عام ١٩١٩م أثناء انعقاد جلسة الهيئة التشريعية لنبراسكا، والتي أقرت قانونًا يطالب محطات الخدمة بصيانة واختبار كل نماذج الجرارات المباعة داخل الولاية. كان القانون يحث (يحرض) على وجود جرارات رديئة (غير متقنة) الصنع في السوق في ذلك الوقت. شروط القانون الأخير لاتطبق على الجرارات التي لها محركات أقل من ٣٠ كيلوواط (٤٠ حصان). أو الجرارات المصنعة والمباعة كجرارات غير زراعية. وتم تطوير وتحديث الاختبارات القياسية التي أجريت في (NTTL) بواسطة جمعية مهندسي السيارات (SAE) والتي تعمل بالتعاون مع الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين (ASAE) . ويتوافق اختبار (ASA/ASAE) للجرارات مع مواصفات الاختبارات القياسية لهيئة المقاييس العالمية (ISO) لذا، فسوف يشار إلى هذه الاختبارات على أنها اختبارات (SAE/ASAE/ISO).

عملت وكالة (NTTL) على أنها وكالة مستقلة وفريدة لاختبار الجرارات لعدة سنوات، وعندما أصبحت صناعة الجرارات وتسويقها عالمية في الثمانينيات، أصبحت تصنيفات هيئة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD) هى الإجراء الرسمي والمقبول بصفة عامة للاختبارمن أجل التسويق العالمي. ابتكرت هذه الأنواع من تصنيفات الاختبار في أوروبا. ولم تشارك الولايات المتحدة مشاركة فعالة في عملية تطوير تصنيفات الاختبار (OECD)، لكن معهد المعدات الصناعية والحقلية ((FIET) تغير اسمه حديثًا إلى (EMI)، معهد مصنعي المعدات) حضر كمشاهد للولايات المتحدة، كان تصنيف (OECD) موجوداً منذ عام ١٩٦٠م. وفي عام ١٩٨٦م، غيرت هيئة السلطة التشريعية في نبراسكا قانون اختبارات الجرارات الخاص بها لقبول اختبارات (OECD) بالإضافة إلى الاختبارات التي تتم بواسطة (NTTL) كشرط أساسي لبيع الجرارات في الولاية. وفي خلال عام ١٩٨٨م، تم تعيين (NTTL) كمحطة اختبار رسمية لـ (OECD) للولايات المتحدة الأمريكية. وبالإضافة إلى ذلك، بدأت (NTTL) في إخراج ملخصات لاختبارات (OECD) والتي تم إجراؤها في كل الأماكن، إذا كان الجرار في حاجة إلى تصريح للبيع في نبراسكا. وتتشابه تلك الملخصات في شكلها

تقارير اختبارات (ASAE/SAE/ISO) والتي توزع على مزارعي نبراسكا والأطراف الأخرى التي لها نفس الاهتمام.

وتوجد الآن ثلاث طرق قياسية معروفة على نطاق واسع لاختبار الجرارات. وتشمل هذه الطرق: اختبار(ASAE/SAE/ISO) القياسي، واختبار (OECD) المحدود (المقيد) واختبار (OECD) الطويل. وتوصف بيانات اختبارات (OECD) بدلائل التصنيف كالتالي:

التصنيف(١)

التصنيف القياسي لـ (OECD) للاختبار الرسمي لأداء الجرار الزراعي.

اختبارات إجبارية.

١ـ عمود مأخذ القدرة الرئيس.
٢ـ القدرة الهيدرولية وقوة الدفع.
٣ـ القدرة على قضيب الشد والجرار المتزن (الموضوع عليه أثقال موازنة).
٤ـ مساحة الدوران ودائرة الدوران.
٥ـ موقع (موضع) مركز ثقل الجرار.
٦ـ الفرامل (الجرارات ذات العجلات فقط).
٧ـ الضوضاء الخارجية للمتفرج البعيد عن الجرار. (الجرارات ذات العجلات فقط).

اختبارات يتم إنجازها وتقريرها في كتيب اختبار المصنعين.

٨ـ المحرك.
٩ـ الأداء على السير أو عمود طاره السير.
١٠ـ الأداء في جو حار.
١١ـ بداية ذات درجة حرارة منخفضة.
١٢ـ القدرة على قضيب الشد واستهلاك الوقود في حالة الجرار غير المتزن.

التصنيف (٢)

التصنيف القياسي المحدود للاختبار الرسمي لأداء الجرار الزراعي.

اختبارات إجبارية.

١ـ عمود مأخذ القدرة الرئيس.

٢ـ القدرة الهيدرولية وقوة الرفع.

٣ـ القدرة على ذراع الشد واستهلاك الوقود في حالة الجرار غير المتزن.

بالإضافة إلى الاختبارات من رقم ٣ إلى رقم ١١ المذكورة عاليه من التصنيف القياسي الذي قد يؤدي ويقرر باختبار الصانع.

التصنيف (٣)

التصنيف القياسي لـ (OECD) للاختبار الرسمي للتركيبات الواقية على الجرارات الزراعية "الاختبار الديناميي".

التصنيف (٤)

التصنيف القياسي لـ (OECD) للاختبار الرسمي للتركيبات الواقية على الجرارات الزراعية "الاختبار الساكن (الاستاتيي)".

التصنيف (٥)

التصنيف القياسي لـ (OECD) للقياس الرسمي للضوضاء في التركيبات الواقية على الجرارات الزراعية.

يتشابه اختبار (SAE/ASAE/ISO) مع الاختبار المقيد (OECD)؛ وتشمل خطوات الاختبار (SAE/ASAE/ISO) اختبار قضيب الشد لمدة ١٠ ساعات عند ٧٥٪ من الحمل، بينما يحتاج اختبار (OECD) إلى خمس ساعات فقط. يتطلّب تقرير اختبار (OECD) تفاصيل أكثر عن مواصفات الجرار، شاملة معلومات أكثر عن تصميم

لمحرك، أجهزة نقل القدرة، الفرامل، . . . إلخ . في بعض البلدان، يمكن إجراء
ي من اختبارات (OECD) باستخدام إمكانات (تسهيلات) اختبار المصنعين بشرط أن
راقب المشرف المختص لـ(OECD) الاختبارات . وبشكل عكسي، يتم تنفيذ كل
ختبارات (SAE/ASAE/ISO) في (NTTL) بواسطة متخصصين في الـ(NTTL) . يمكن
ن يجرى خارجيًا عند أكثر من مكان . على سبيل المثال، اختبار (SAE/ASAE/ISO)
لذي أجري في (NTTL)، يمكن أن يلحق (يضم) باختبارات تمت في الخارج في بلدان
خرى للحصول على اختبار (OECD) . اختبار (NTTL) غير مجهز لإجراء اختبارات
OECD) من التصنيف رقم (٣) أو رقم (٤)، لكن يشهد المتخصصون في (NTTL)
لك الاختبارات التي أجريت بإمكانات المصنع .

كان التفاوت في التصنيع جزءاً ملازمًا لإنتاج الجرارات بالجملة، لكن بسبب
لك التفاوتات، كانت هناك بعض الاختلافات في الجرارات المنتجة على نفس خط
تصنيع (التجميع) . لذا، يجب أن تستخدم بعض الإجراءات لاختبار جرار معين
يجرى عليه الاختبار . ويسمح الإجراء المستخدم في الاختبار (SAE/ASAE/ISO) أو
ختبار (OECD) للمصنع (الصانع) أن يختار جراراً من خط التصنيع (التجميع)
جراء الاختبار المبدئي له قبل تقديمه للاختبار الرسمي . بالإضافة إلى الاختبار المبدئي
لجرارات قبل الاختبار الرسمي، يختبر المصنعون بشكل روتيني جراراتهم
مكوناتها لمقدرة تحملها (متانتها) وللحصول على معلومات أخرى مفيدة . على
سبيل المثال، قد يتم اختبار المحرك لكي توصى بما هي التوليفات من السرعة والعزم
لتي تعطي أعلى توفير من الوقود .

٤,٥, الاختبارات الرسمية للجرار

تأخذ التقارير الرسمية لـ(OECD) وقتًا طويلاً لتوزيعها على الجمهور (العامة) .
كل نموذج لجرار والذي يباع في ولاية نبراسكا، وقد أجري له اختبار (OECD)،
لذلك تنشر وكالة (NTTL) ملخصًا للاختبار في شكل مشابه لتقارير الاختبار الأولي
لجرار في نبراسكا . ومثال لأحد هذه التقارير موضح في الشكل رقم (٤,١٠) .
ويتمثل الغرض من التقارير المختصرة في السماح للمشترين المحتملين للجرارات

بمقارنتها . ويكون الأداء على عمود مأخذ القدرة قابلاً للمقارنة المباشرة إما باستخدام ملخصات (OECD) أو باستخدام تقارير اختبارات (SAE/ASAE/ISO) . يجب الحذر عند مقارنة أداء قضيب الشد بسبب الاختلافات في طرق الاختبار. على سبيل المثال، تجرى اختبارات (SAE/ASAE/ISO) عند السرعة المقررة للمحرك، بينما تجرى اختبارات (OECD) عند القدرة القصوى.

إذا كان الجرار يحتوي على عمود مأخذ للقدرة، يجرى الاختبار عند السرعة التي تعطي القدرة القصوى لمدة ساعتين. وتجرى اختبارات قصيرة أيضًا عند السرعة المقررة للمحرك وعند السرعة القياسية لعمود مأخذ القدرة وذلك إذا اختلفت تلك السرعات عن السرعة عند القدرة القصوى. ففي التقرير الموجود في الشكل رقم (١٠ , ٤)، على سبيل المثال، كانت السرعة المقررة للمحرك ٢٢٠٠ لفة/ دقيقة، لكن القدرة القصوى كانت عند ٢٠٥٠ لفة/ دقيقة. وتجرى سلسلة من الاختبارات القصيرة لتحميل الجزىء لعمود مأخذ القدرة في مدى سيطرة الحاكم. يحمل المحرك أيضًا في داخل مدى الحمل المسموح به لكي يمكن تسجيل العزم المقرر. بالإضافة إلى القدرة والسرعة، يقاس استهلاك الوقود خلال كل اختبار لعمود مأخذ القدرة. بإهمال القدرة المفقودة بين المحرك وعمود مأخذ القدرة، يمكن حساب العزم التقريبي للمحرك لكل اختبار من القدرة والسرعة باستخدام المعادلة رقم(١٣ , ٢). وكما هو موضح في المعادلتين رقمي (٢٣ , ٢) و(٢٤ , ٢)، فإن درجة حرارة الجو المحيط والضغط البارومتري يؤثران على كتلة الهواء المستهلكة (معدل استهلاك الهواء الكتلي) للمحرك ولذا، يتم تسجيل الظروف الجوية أثناء اختبارات عمود مأخذ القدرة ووضعها في التقرير. في اختبارات (SAE/ASAE/ISO)، يتم تسجيل الظروف المحيطة عند كل اختبار لعمود مأخذ القدرة كما هو موضح بالشكل رقم (١٠ , ٤)، لذلك، تسجل الظروف الجوية المتوسطة أثناء كل اختبار لعمود مأخذ القدرة في اختبارات (OECD) . يلاحظ أن، في اختبارات القدرة المتغيرة بالشكل رقم (١٠ , ٤)، يزداد الاستهلاك النوعي للوقود (SFC) (كجم/ كيلوواط . ساعة) زيادة جوهرية عندما يتناقص حمل المحرك، كما يمكن التنبؤ بها من المناقشة في الجزء رقم (٥ , ٢ , ٢).

في اختبارات (OECD)، يختبر الجرار عند كل ترس بشرط أن لاتزيد أي من السرعة والانزلاق. ويكون الاختبار الأول لقضيب الشد المسجل في ملخص (NTTL)، الشكل رقم (١٠ , ٤)، للترس الأفضل في الشد، بمعنى أنه الترس الذي يعطي تقريبًا معظم القدرة على قضيب الشد. وبعد ذلك، قامت الـ(NTTL) بتسجيل نتائج لاختبار مدته خمس ساعات عند ٧٥٪ من الشد والذي يعطي أقصى قدرة. يوجد في التقرير أيضًا نتائج الاختبار القصير عند ٥٠٪ من الشد والذي يعطي أقصى قدرة. يتم إجراء الاختبارين التاليين عند٧٥٪ و٥٠٪ من الشد، لكن عند سرعة صغيرة للمحرك. في الاختبارين السابقين، يتم وضع عصا التعشيق في الجرار على الترس الأعلى (من الترس الثاني عشر إلى الترس الثالث عشر) في هذه الحالة، وسرعة المحرك تقل لتعطي تقريبًا نفس السرعة الأمامية في الاختبارات الأولية. وتكون الأجزاء الثلاثة التالية من التقرير عبارة عن سلسلة اختبارات لقضيب الشد عند التروس المختارة. وتكون السلسلة الأولى لأداء قضيب الشد للجرار غير الموزون (غير الموضوع عليه أثقال للاتزان) عند أقصى قدرة. يلاحظ أنه، لكي يعطي المحرك أقصى قدرة فإنه يجب أن يزيد حمل قضيب الشد عندما يعشق الجرار على الترس الأقل. يلاحظ أيضًا، الزيادة المقررة في انزلاق العجل عند زيادة الشد على قضيب الشد. ولم يتم اختبار التروس من الأول حتى الرابع لأن الشد في هذه الحالة سوف يعطي زيادة في انزلاق العجل. وكان المحرك دائرًا (في حالة تشغيل) عند سرعة ٢٠٥٠ لفة/ دقيقة ليعطي أقصى قدرة أثناء اختبار عمود مأخذ القدرة، حيث ساوت نفس سرعة المحرك، وكان المحرك عند أقصى قدرة أثناء الاختبارات عند التروس من الخامس حتى الثالث عشر. ومع ذلك، ففي الترسين الخامس والسادس، تم خفض الحمل على قضيب الشد لمنع الانزلاق الزائد وفي هذه الحالة أنتج المحرك قدرة أقل من القدرة القصوى. ولم يتم اختبار التروس ١٤، ١٥ لتجنب ستخدام سرعات عالية. في السلسلة الثانية من الاختبارات للتروس المختلفة، كان لمحرك يعمل مرة ثانية عند سرعة ٢٠٥٠ لفة/ دقيقة(من أجل الوصول إلى قمة لقدرة) لكن، كان الجرار موزونًا تمامًا في السلسلة الثالثة من اختبارات قضيب لشد للتروس المختلفة، كان الجرار الموزون يعمل عند السرعة المقررة للمحرك وليس

عند أقصى قدرة للمحرك. تم تسجيل الظروف الجوية، استهلاك الوقود وثوابت الأداء الأخرى لكل اختبار من الاختبارات المذكورة أعلاه لقضيب الشد. وتوضح السلسلة الأخيرة من اختبارات قضيب الشد قدرة الجرار على التحمل. ترجع غالبية الزيادة في الشد أثناء اختبارات التحمل إلى العزم المخزون للمحرك. ازداد عزم المحرك بـ ٣٤,٥٪ ووصل للقمة عند ١٤٥٠ لفة/ دقيقة في اختبارات عمود مأخذ القدرة، انظر الشكل رقم (١٠, ٤). وفي اختبارات التحمل لقضيب الشد، كانت زيادة الشد ٣٧٪ عند كل من السرعات ١٥٣٧ ، ١٣٢١ لفة/ دقيقة، ومن المحتمل أن يظهر اختبار التحميل لقضيب الشد عند سرعة ١٤٥٠ لفة/ دقيقة زيادة في الشد أعلى قليلاً من ٣٧٪.

يحتوي تقرير الاختبار على تفاصيل الوقود، الزيوت المستخدمة، مواصفات المحرك، ثوابت التشغيل ومعلومات عن هيكل الجرار. ويشمل الأخير اختبارات التروس المتاحة والسرعات عند كل ترس. وتعطى بيانات عن موقع مركز الجاذبية، أحمال المحور، ارتفاع قضيب الشد والإطارات المستخدمة والتي سوف تكون مفيدة في حساب أداء الشد كما تم وصفه في الجزء رقم (٦, ٢). ويقاس أداء الرفع للشبك ثلاثي النقاط ويسجل في التقرير. أخيراً، يقاس مستوى الصوت داخل الكابينة وعند موقع المشاهد (المتفرج) يسجل أيضًا في التقرير.

شكل ١٠,٤. اختبار نبراسكا (OECD) ١٦٢١ - ملخص ٠٥٩

(عن : The University of Nebraska Tractor Testing Laboratory)

چون دير٤٧٥٥ ديزل، ناقل آلي، ١٥ سرعة

مكان الاختبار: مركز المعدات الزراعية، لنكولن نبراسكا ٦٨٥٨٣ - ٠٨٣٢، الولايات المتحدة الأمريكية.

تاريخ الاختبار: ابريل - مايو ، ١٩٨٩

الصانع: مصانع واترلو چون دير، صندوق بريد ٣٥٠٠، واترلو، أيوا ٥٠٧٠٤ .

الوقود، الزيت والزمن: الوقود رقم ٢ ديزل، رقم سيتان ١ ,٥١، الوزن النوعي محول إلى ٦٠°/ ٦٠° ف (١٥°/ ١٥°م) ٠,٨٣٠١، وزن الوقود ٦,٩١٢ أرطال/ جالون (٠,٨٢٨ كجم/ لتر)، رقم SAE للزيت 15W40، تصنيف الخدمة حسب API هو CD/SD، الداخل للمحرك ٤,٩١٥ جالون (١٨,٦٠٦ لتر)، المصفى من المحرك ٤,٦٦٧ جالون (١٧,٦٦٦ لتر)، مزيتات النقل والجهاز الهيدرولي زيت چون دير HyGard، زيت المحور الأمامي چون دير GL-5، زيت صندوق التروس 85W-140، الزمن الكلي لتشغيل المحرك ٢٨,٠ ساعة.

المحرك: الصانع چون دير ديزل، النوع ست أسطوانات رأسية مع شاحن تربيني ومبرد إضافي، الرقم المسلسل *RG6076A102454*، عمود المرفق بالطول، السرعة المقررة للمحرك ٢٢٠٠، القطر والمشوار(كما هو محدد) ٤,٥٦ بوصة × ٤,٧٥بوصة (١١٥,٨ م × ١٢٠,٧ م)، نسبة الكبس ١٦,٠ إلى ١، السعة ٤٦٦ بوصة مكعبة (٧٦٣٤ مللي لتر)، نظام البدء ١٢ ڤولت، التزييت بالضغط، منقي الهواء عنصران ورقيان، منقي الزيت علبة واحدة تامة السريان، مبرد زيت المحرك مبادل حراري مع سائل تبريد لتبريد زيت علبة المرفق، مشع لزيت جهاز النقل والجهاز الهيدرولي، منقي الوقود عنصر واحد ورقي، مع منقي أولي، علبة العادم رأسية، التحكم في متوسط درجة حرارة التبريد منظمان حراريان ومروحة متغيرة السرعة.

محددات تشغيل المحرك: معدل الوقود ٦٦,٦ -٧٢,٨ رطل/ ساعة (٣٠,٢ - ٣٣,٠ كجم/ ساعة)، أعلى سرعة مثالية ٢٣٥٠ - ٢٤٠٠ لفة/ دقيقة، ضغط الشاحن التربيني ١٦-١٩ رطل/ بوصة^2 (١١٠-١٣١ ك. بسكال)، ومقاس ١٦,٥ رطل/ بوصة^2 (١١٤ كيلوبسكال).

شاسيه: النوع دفع أمامي مساعد، الرقم المسلسل *RW4755P001033*، المسافة بين الإطارات: خلفي ٦٤,٦ بوصة (١٦٤٢ م) إلى ١١٥,٧ بوصة (٢٩٣٨ م)، أمامي ٦٦,٦ بوصة (١٦٩١) إلى ٨٧,٨ بوصة (٢٢٣٠ م)، المسافة بين المحاور ١١٧,١ بوصة (٢٩٧٤ م)، نظام التحكم هيدرولي مباشرة من المحرك، النقل يدوي مع نسب تخفيض ثابتة مع مجالين جزءيين محافظة على القدرة بواسطة السائق، السرعات الاسمية ميل/ ساعة (كم/ ساعة) الأول ١,٤٢ (٢,٢/) الثاني٢,٠٣ (٣,٢٧) الثالث ٢,٤٥ (٣,٩٥) الرابع ٣,٠٨ (٤,٩٦) الخامس ٣,٥٥

تابع شكل ٤,١٠ .
أداء عمود مأخذ القدرة

القدرة حصان كيلوواط	سرعة عمود المرفق لفة/د	جا/س (لتر/س)	استهلاك الوقود رطل/حصان.س (كجم/ك.وات.س)	حصان.س/جا (ك وات.س/لتر)	الظروف الجوية المتوسطة
أقصى قدرة واستهلاك الوقود					
السرعة المقررة للمحرك - (سرعة عمود مأخذ القدرة- ٩٩٨ لفة/ دقيقة)					
١٧٧,٠٦	٢٢٠٠	٩,٧٣	٠,٣٨٠	١٨,٢٠	
(١٣٢,٠٤)		(٣٦,٨٢)	(٠,٢٣١)	(٣,٥٩)	
أقصى قدرة (ساعتين)					
١٧٨,٩٦	٢٠٥٠	٩,٦١	٠,٣٧١	١٨,٦٢	
(١٣٣,٤٥)		(٣٦,٣٩)	(٠,٢٢٦)	(٣,٦٧)	درجة حرارة الهواء
تغير القدرة واستهلاك الوقود					
١٧٧,٠٦	٢٢٠٠	٩,٧٣	٠,٣٨٠	١٨,٢٠	٧٨°ف (٢٥°م)
(١٣٢,٠٤)		(٣٦,٨٢)	(٠,٢٣١)	(٣,٥٩)	
١٥٥,١٤	٢٢٦٣	٨,٨٥	٠,٣٩٤	١٧,٥٢	الرطوبة النسبية
(١١٥,٦٩)		(٣٣,٥٢)	(٠,٢٤٠)	(٣,٤٥)	
١١٧,٧٠	٢٢٩٢	٧,١٦	٠,٤٢١	١٦,٤٤	٣٩٪
(٨٧,٧٧)		(٢٧,١١)	(٠,٢٥٦)	(٣,٢٤)	
٧٩,٥١	٢٣٢٣	٥,٥١	٠,٤٧٩	١٤,٤٢	ضغط البارومتر
(٥٩,٢٩)		(٢٠,٨٧)	(٠,٢٩١)	(٢,٨٤)	
٤٠,١٦	٢٣٥٣	٣,٨٦	٠,٦٦٥	١٠,٤٠	٢٨,٧٤بوصة زئبق
(٢٩,٩٥)		(١٤,٦٢)	(٠,٤٠٤)	(٢,٠٥)	(٩٧,٣٣كيلوباسكال)
٢,٠٨	٢٣٧٥	٢,٣٠	٧,٦٥١	٠,٩٠	
(١,٥٥)		(٨,٧١)	(٤,٦٥٤)	(٠,١٨)	

أقصى عزم ٥٦٩ رطل. قدم (٧٧١ نيوتن متر) عند ١٤٥٠ لفة/د
أقصى ارتفاع عزم ٣٤,٥٪
ارتفاع العزم عند سرعة المحرك ١٠٠٠ لفة/ د ١٢٪

أداء قضيب الشد - خصائص استهلاك الوقود

القدرة حصان (ك وات)	قضيب الشد أرطال (كيلونيوتن)	السرعة ميل/س (كم/س)	سرعة عمود المرفق (لفة/د)	الانزلاق %	استهلاك الوقود رطل/ح.س (كجم/ك وات.س)	استهلاك الوقود ح.س/جا (ك وات س/ل)	درجة الحرارة °ف (°م) وسط التبريد	درجة الحرارة °ف (°م) الهواء الجاف	بارومتر بوصة زئبق (كيلوباسكال)

تابع شكل رقم (٤,١٠)

(٥,٧١) السادس ٤,٠٣ (٦,٤٩) السابع ٤,٦٤ (٧,٤٧) الثامن ٥,٣٣ (٨,٥٨) التاسع ٦,١٤ (٩,٨٩) العاشر ٦,٩٧ (١١,٢٢) الحادي عشر ٨,٠٣ (١٢,٩٣) الثاني عشر ٨,٩٩ (١٤,٤٦) الثالث عشر ١١,١٢ (١٧,٩٠) الرابع عشر ١٥,٥٦ (٢٥,٠٤) الخامس عشر ١٩,٢٥ (٣٠,٩٨) الخلفية ١,٩٦ (٣,١٦)، ٢,٨١ (٤,٥٢)، ٤,٢٧ (٦,٨٧)، ٦,٤٣ (١٠,٣٤)، القابض مبتل متعدد الأقراص يعمل بدواسة القدم مع مؤازرة هيدرولية، المكابح مبتل متعدد الأقراص مع مؤازرة هيدرولية وتعمل بدواستين بالقدم يمكن ربطهما سويًا، التوجيه هيدروستاتي، عمود مأخذ القدرة ٩٩٨ لفة/ دقيقة عند سرعة دوران للمحرك ٢٢٠٠ لفة/ دقيقة، كتلة المحرك غير المحملة ١٨١٦٥ رطل(٨٢٣٩ كجم).

الإصلاحات والضبط: لم يحدث إصلاحات وضبط.

ملاحظات: تم إيجاد جميع نتائج الاختبار من البيانات التي تم ملاحظتها بالمطابقة مع الخطوات الرسمية لاختبار OECD, SAE وحسب خطوات اختبار نبراسكا. بالنسبة لاختبارات أقصى قدرة، تم المحافظة على درجة حراراة خط رجوع مضخة حقن الوقود عند ١٢٥°ف (٥٢°م). هذا الجرار مزوّد بمروحة تبريد متغيرة السرعة. وحيث أن قدرة المحرك تتأثر بسرعة المروحة، فقد أجريت كل اختبارات القدرة على نفس درجة حرارة الهواء المحيطة تقريبًا. هذا الجرار لم تتوافق سعة الرفع ثلاثي النقاط كإدعاء المصانع ٨٨٧٠ رطل (٤٠٢٣ كجم) أو ٩٧١٠ رطل (٤٤٠٤ كجم) مع أسطوانة رفع مساعدة. كان الشد على الترس الثالث (والجرار موضوع عليه أثقال) محدد لتجنب قفز الجرار. أخذت أشكال أداء هذا الملخص من الاختبارات تحت المواصفات OECD المحظور.

نشهد نحن الموقعون أدناه أن هذا التقرير حقيقي وصحيح من واقع سجل اختبار الجرار١٦٢١، الملخص ٠٥٩ ٢٢ ديسمبر ١٩٨٩م

LOUIS I. LEVITICUS

المهندس المسؤول

K. VON BARGEN

R. D. GRISSO

G. J HOFFMAN

مهندسو هيئة اختبار الجرار

تابع : شكل ١٠,٤.

القدرة القصوى – الترس الثاني عشر									
١٤٧,٧٦	٦٢٦٧	٨,٨٤	٢٢٠١	٢,٤٣	٠,٤٥٥	١٥,١٩	١٨٦	٥٨	٢٩,٠٧
(١١٠,١٩)	(٢٧,٨٨)	(١٤,٢٣)			(٠,٢٧٧)	(٢,٩٩)	(٨٦)	(١٤)	(٩٨,٤٤)
٧٥٪ من الشد عند القدرة القصوى – الترس الثاني عشر									
١١٥,٢٦	٤٦٩٧	٩,٢٠	٢٢٨٢	١,٩٨	٠,٤٨٩	١٤,١٤	١٨٤	٦١	٢٩,٠٤
(٨٥,٩٥)	(٢٠,٨٩)	(١٤,٨١)			(٠,٢٩٧)	(٢,٧٨)	(٨٤)	(١٦)	(٩٨,٣٤)
٥٠٪ من الشد عند القدرة القصوى – الترس الثاني عشر									
٧٨,٠٤	٣١٣٢	٩,٣٤	٢٣٠٥	١,٥٢	٠,٥٦٩	١٢,١٥	١٨١	٥٨	٢٩,٠٤
(٥٨,٢٠)	(١٣,٩٣)	(١٥,٠٤)			(٠,٣٤٦)	(٢,٣٩)	(٨٣)	(١٤)	(٩٨,٣٤)
٧٥٪ من الشد عند أقل سرعة للمحرك – الترس الثالث عشر									
١١٥,٤٩	٤٧٠٧	٩,٢٠	١٨٤٢	١,٩٨	٠,٤٥٩	١٥,٠٧	١٨٣	٥٩	٢٩,٠٤
(٨٦,١٢)	(٢٠,٩٤)	(١٤,٨١)			(٠,٢٧٩)	(٢,٩٧)	(٨٤)	(١٥)	(٩٨,٣٤)
٥٠٪ من الشد عند أقل سرعة للمحرك – الترس الثالث عشر									
٧٨,١٢	٣١٣١	٩,٣٦	١٨٦٥	١,٥٢	٠,٥١٩	١٣,٣٣	١٨١	٥٨	٢٩,٠٤
(٥٨,٢٥)	(١٣,٩٣)	(١٥,٠٦)			(٠,٣١٥)	(٢,٦٣)	(٨٣)	(١٤)	(٩٨,٣٤)

أداء قضيب الشد عند ٢٠٥٠ لفة/ د

القدرة القصوى عند التروس المختارة

القدرة حصان (ك وات)	قضيب الشد أرطال (كيلونيوتن)	السرعة ميل/س (كم/س)	سرعة عمود المرفق (لفة/د)	الانزلاق ٪	استهلاك الوقود رطل/ح.س (كجم/ك وات.س)	ح.س/جا (ك وات س/ل)	درجة الحرارة °ف (°م) وسط التبريد	الهواء الجاف	بارومتر بوصة زئبق (كيلوباسكال)
الترس الخامس									
١٣٣,٣٣	١٦٤٥٢	٣,٠٤	٢١٩٢	١٤,٧٨	٠,٥٠٢	١٣,٧٧	١٨٤	٥٥	٢٩,١٣
(٩٩,٤٢)	(٧٣,١٨)	(٤,٨٩)			(٠,٣٠٥)	(٢,٧١)	(٨٤)	(١٣)	(٩٨,٦٥)
الترس السادس									
١٤٥,٦٨	١٤٨٥٢	٣,٦٨	٢١٧٥	٨,٢٣	٠,٤٦١	١٤,٩٨	١٨٤	٥٦	٢٩,١١
(١٠٨,٦٤)	(٦٦,٠٦)	(٥,٩٢)			(٠,٢٨١)	(٢,٩٥)	(٨٤)	(١٣)	(٩٨,٥٨)
الترس السابع									
١٤٩,٣١	١٣٧٦٧	٤,٠٧	٢٠٥١	٦,٥٩	٠,٤٤٤	١٥,٥٥	١٨٤	٥٦	٢٩,١٠
(١١١,٣٤)	(٦١,٢٤)	(٦,٥٥)			(٠,٢٧٠)	(٣,٠٦)	(٨٤)	(١٣)	(٩٨,٥٤)
الترس الثامن									
١٤٧,٥٠	١١٦١٣	٤,٧٦	٢٠٥٠	٤,٨٢	٠,٤٤٨	١٥,٤١	١٨٧	٥٧	٢٩,٠٩
(١٠٩,٩٩)	(٥١,٦٦)	(٧,٦٧)			(٠,٢٧٣)	(٣,٠٤)	(٨٦)	(١٤)	(٩٨,٥١)

تابع شكل ٤,١٠.

الترس التاسع									
١٤٨,٢١	١٠٠٢١	٥,٥٥	٢٠٥٢	٤,٠٤	٠,٤٤٧	١٥,٤٨	١٨٧	٥٨	٢٩,٠٨
(١١٠,٥٢)	(٤٤,٥٨)	(٨,٩٣)			(٠,٢٧٢)	(٣,٠٥)	(٨٦)	(١٤)	(٩٨,٤٨)
الترس العاشر									
١٥٠,٥٧	٨٩٢٩	٦,٣٢	٢٠٥٣	٣,٤٢	٠,٤٤٤	١٥,٥٨	١٨٦	٥٨	٢٩,٠٨
(١١٢,٢٨)	(٣٩,٧٢)	(١٠,١٨)			(٠,٢٧٠)	(٣,٠٧)	(٨٦)	(١٤)	(٩٨,٤٨)
الترس الحادي عشر									
١٤٨,٥٤	٧٥٩٧	٧,٣٣	٢٠٥٣	٢,٨٨	٠,٤٤٦	١٥,٥١	١٨٦	٥٨	٢٩,٠٧
(١١٠,٧٦)	(٣٣,٧٩)	(١١,٨٠)			(٠,٢٧١)	(٣,٠٦)	(٨٦)	(١٤)	(٩٨,٤٤)
الترس الثاني عشر									
١٥١,٣٩	٦٩٠١	٨,٢٣	٢٠٥٣	٢,٦١	٠,٤٣٦	١٥,٨٥	١٨٦	٦٠	٢٩,٠٦
(١١٢,٨٩)	(٣٠,٧٠)	(١٣,٢٤)			(٠,٢٦٥)	(٣,١٢)	(٨٦)	(١٦)	(٩٨,٤١)
الترس الثالث عشر									
١٤٦,٨٢	٥٣٨٦	١٠,٢٢	٢٠٥٣	٢,١٦	٠,٤٤٩	١٥,٤١	١٨٦	٦١	٢٩,٠٥
(١٠٩,٤٨)	(٢٣,٩٦)	(١٦,٤٥)			(٠,٢٧٣)	(٣,٠٤)	(٨٦)	(١٦)	(٩٨,٣٧)

أداء قضيب الشد عند ٢٠٥٠ لفة/ د

القدرة القصوى عند التروس المختارة - الجرار موضوع عليه اثقال

القدرة حصان (ك وات)	قضيب الشد أرطال (كيلونيوتن)	السرعة ميل/س (كم/س)	سرعة عمود المرفق (لفة/د)	الانزلاق %	استهلاك الوقود رطل/ح.س (كجم/ك وات.س)	استهلاك الوقود ح.س/جا (ك وات س/ل)	درجة الحرارة °ف (°م) وسط التبريد	درجة الحرارة °ف (°م) الهواء الجاف	بارومتر بوصة زئبق (كيلوباسكال)
الترس الثالث									
١٣١,٧٥	٢١٤٨١	٢,٣٠	٢٢٦٢	٩,٣٨	٠,٤٩١	١٤,٠٧	١٨٥	٥٥	٢٩,٠٢
(٩٨,٢٥)	(٩٥,٥٥)	(٣,٧٠)			(٠,٢٩٩)	(٢,٧٧)	(٨٥)	(١٣)	(٩٨,٢٧)
الترس الرابع									
١٤٣,٠٨	١٨٨٨٢	٢,٨٤	٢١٦٤	٦,٨١	٠,٤٦٧	١٤,٨١	١٨٧	٥٧	٢٩,٠٠
(١٠٦,٧٠)	(٨٣,٩٩)	(٤,٥٧)			(٠,٢٨٤)	(٢,٩٢)	(٨٦)	(١٤)	(٩٨,٢١)
الترس الخامس									
١٤٥,٤٤	١٦٦٦٧	٣,٢٧	٢١٢٥	٥,١٣	٠,٤٦١	١٥,٠٠	١٨٦	٦٠	٢٨,٩٩
(١٠٨,٤٥)	(٧٤,١٤)	(٥,٢٧)			(٠,٢٨٠)	(٢,٩٥)	(٨٥)	(١٦)	(٩٨,١٧)
الترس السادس									
١٥١,٦٢	١٥٧٢٧	٣,٦٢	٢٠٥١	٤,٢٦	٠,٤٣٧	١٥,٨٢	١٨٧	٦٢	٢٨,٩٥
(١١٣,٠٦)	(٦٩,٩٦)	(٥,٨٢)			(٠,٢٦٦)	(٣,١٢)	(٨٦)	(١٧)	(٩٨,٠٤)

تابع شكل ١٠,٤.

الترس السابع									
١٤٩,٦١	١٣٣٧٦	٤,١٩	٢٠٥١	٣,٦٥	٠,٤٤٣	١٥,٦٢	١٨٧	٦٣	٢٨,٩٣
(١١١,٥٦)	(٥٩,٥٠)	(٦,٧٥)			(٠,٢٦٩)	(٣,٠٨)	(٨٦)	(١٧)	(٩٧,٩٧)
الترس الثامن									
١٤٥,٥١	١١٢٤٦	٤,٨٥	٢٠٥٠	٢,٩٤	٠,٤٥٤	١٥,٢٢	١٨٦	٦٢	٢٨,٩٧
(١٠٨,٥٠)	(٥٠,٠٢)	(٧,٨١)			(٠,٢٧٦)	(٣,٠٠)	(٨٦)	(١٧)	(٩٨,١٠)
الترس التاسع									
١٤٦,٦٢	٩٧٧٦	٥,٦٢	٢٠٥٣	٢,٤٩	٠,٤٥٤	١٥,٢٤	١٨٧	٦١	٢٨,٩٨
(١٠٩,٣٣)	(٤٣,٤٩)	(٩,٠٥)			(٠,٢٧٦)	(٣,٠٠)	(٨٦)	(١٦)	(٩٨,١٤)
الترس العاشر									
١٤٦,٩٦	٨٦٠٧	٦,٤٠	٢٠٥٣	٢,٢٢	٠,٤٥١	١٥,٣٣	١٨٦	٦٣	٢٨,٩١
(١٠٩,٥٩)	(٣٨,٢٩)	(١٠,٣٠)			(٠,٢٧٤)	(٣,٠٢)	(٨٦)	(١٧)	(٩٧,٩٠)
الترس الحادي عشر									
١٤٥,٤٤	٧٣٧٩	٧,٣٩	٢٠٥١	١,٩٤	٠,٤٥٩	١٥,٠٦	١٨٧	٦٥	٢٨,٨٨
(١٠٨,٤٥)	(٣٢,٨٢)	(١١,٩٠)			(٠,٢٧٩)	(٢,٩٧)	(٨٦)	(١٨)	(٩٧,٨٠)
الترس الثاني عشر									
١٥٠,٦٩	٦٨١٧	٨,٢٩	٢٠٥٣	١,٧٦	٠,٤٣٩	١٥,٧٦	١٨٦	٦٥	٢٨,٨٧
(١١٢,٣٧)	(٣٠,٣٢)	(١٣,٣٤)			(٠,٢٦٧)	(٣,١٠)	(٨٦)	(١٨)	(٩٧,٧٧)
الترس الثالث عشر									
١٤٥,٦٣	٥٣٠٥	١٠,٣٠	٢٠٥٤	١,٣٩	٠,٤٥٥	١٥,١٨	١٨٩	٦٥	٢٨,٨٧
(١٠٨,٥٩)	(٢٣,٦٠)	(١٦,٥٧)			(٠,٢٧٧)	(٢,٩٩)	(٨٧)	(١٨)	(٩٧,٧٧)

أداء قضيب الشد عند ٢٢٠٠ لفة/ د

القدرة القصوى عند التروس المختارة – الجرار موضوع عليه اثقال

القدرة حصان (كيلوواط)	قضيب الشد أرطال (كيلونيوتن)	السرعة ميل/ س (كم /س)	سرعة عمود المرفق (لفة/ د) .	الانزلاق %	استهلاك الوقود رطل/ ح.س (كجم/ ك وات. س)	استهلاك الوقود ح.س/ جا (ك وات س/ ل)	درجة الحرارة °ف (°م) وسط التبريد	درجة الحرارة °ف (°م) الهواء الجاف	بارومتر بوصة زئبق (كيلوباسكال)
الترس الثالث									
١٢٨,٧١	٢١١٩٢	٢,٢٨	٢٢٦١	١٠,٢٣	٠,٤٩٩	١٣,٨٥	١٨٦	٥٥	٢٩,٠١
(٩٥,٩٨)	(٩٤,٢٧)	(٣,٦٧)			(٠,٣٠٣)	(٢,٧٣)	(٨٥)	(١٣)	(٩٨,٢٤)
الترس الرابع									
١٤٤,٠٣	١٨٥٦٣	٢,٩١	٢٢٠٢	٦,٢٣	٠,٤٦٧	١٤,٧٩	١٨٦	٥٥	٢٩,٠٠
(١٠٧,٤٠)	(٨٢,٥٧)	(٤,٦٨)			(٠,٢٨٤)	(٢,٩١)	(٨٥)	(١٣)	(٩٨,٢١)

تابع شكل ٤,١٠.

الترس الخامس									
١٤٣,٩٧	١٥٨٦٧	٣,٤٠	٢٢٠٠	٤,٧٠	٠,٤٦٨	١٤,٧٧	١٨٦	٥٨	٢٨,٩٩
(١٠٧,٣٦)	(٧٠,٥٨)	(٥,٤٨)			(٠,٢٨٥)	(٢,٩١)	(٨٦)	(١٤)	(٩٨,١٧)
الترس السادس									
١٤٩,٧٢	١٤٣٩٣	٣,٩٠	٢٢٠٢	٣,٩١	٠,٤٤٨	١٥,٤١	١٨٦	٦٢	٢٨,٩٦
(١١١,٦٥)	(٦٤,٠٢)	(٦,٢٨)			(٠,٢٧٣)	(٣,٠٤)	(٨٦)	(١٧)	(٩٨,٠٧)
الترس السابع									
١٤٧,٤٨	١٢٢٦٥	٤,٥١	٢١٩٦	٣,٣٩	٠,٤٥٤	١٥,٢٤	١٨٦	٦٢	٢٨,٩٤
(١٠٩,٩٨)	(٥٤,٥٦)	(٧,٢٦)			(٠,٢٧٦)	(٣,٠٠)	(٨٥)	(١٧)	(٩٨,٠٠)
الترس الثامن									
١٤٣,٧٩	١٠٣٣٠	٥,٢٢	٢١٩٩	٢,٥٨	٠,٤٦٦	١٤,٨٤	١٨٦	٦٢	٢٨,٩٧
(١٠٧,٢٣)	(٤٥,٩٥)	(٨,٤٠)			(٠,٢٨٣)	(٢,٩٢)	(٨٥)	(١٧)	(٩٨,١٠)
الترس التاسع									
١٤٣,٧٥	٨٩١٧	٦,٠٥	٢٢٠٣	٢,٣١	٠,٤٦٩	١٤,٧٥	١٨٦	٦٠	٢٨,٩٨
(١٠٧,١٩)	(٣٩,٦٦)	(٩,٧٣)			(٠,٢٨٥)	(٢,٩١)	(٨٦)	(١٦)	(٩٨,١٤)
الترس العاشر									
١٤٣,٨٥	٧٨٦١	٦,٨٦	٢١٩٦	١,٩٤	٠,٤٦٦	١٤,٨٣	١٨٦	٦٣	٢٨,٩١
(١٠٧,٢٧)	(٣٤,٩٧)	(١١,٠٤)			(٠,٢٨٣)	(٢,٩٢)	(٨٥)	(١٧)	(٩٧,٩٠)
الترس الحادي عشر									
١٤١,٩٨	٦٧٠٠	٧,٩٥	٢٢٠١	١,٧٦	٠,٤٧٠	١٤,٧١	١٨٥	٦٥	٢٨,٨٩
(١٠٥,٨٧)	(٢٩,٨٠)	(١٢,٧٩)			(٠,٢٨٦)	(٢,٩٠)	(٨٥)	(١٨)	(٩٧,٨٣)
الترس الثاني عشر									
١٤٥,٥٥	٦١٣٦	٨,٩٠	٢١٩٩	١,٥٨	٠,٤٦١	١٤,٩٨	١٨٦	٦٥	٢٨,٨٩
(١٠٨,٥٤)	(٢٧,٢٩)	(١٤,٣٢)			(٠,٢٨١)	(٢,٩٥)	(٨٥)	(١٨)	(٩٧,٨٣)

مستوى صوت الجرار مع الكابينة	dB (A)
أقرب ترس إلى ٧,٤ ميل/س (٧,٥كم/س) - الترس السابع	٧٦,٥
أقصى مستوى للصوت	٧٧,٠
السرعة المنقولة - بدون حمل - الترس الخامس عشر	٧٧,٠
بالمواصفة القياسية - الترس الخامس عشر	٨٥,٥

تابع شكل ٤,١٠ .

قدرة التحمل عند الترس العاشر						
سرعة عمود المرفق (لفة/ د)	٢١٩٦	١٩٧٨	١٧٦٢	١٥٣٧	١٣٢١	١٠٩٧
الشد - أرطال (كيلونيوتن)	٧٨٦١ (٣٤,٩٧)	٨٩٧٢ (٣٩,٩١)	١٠٠٥٦ (٤٤,٧٣)	١٠٧٧٥ (٤٧,٩٣)	١٠٧٨٥ (٤٧,٩٧)	٩٩٤٨ (٤٤,٢٥)
الزيادة في الشد٪	٠	١٤	٢٨	٣٧	٣٧	٢٧
القدرة - حصان (ك. وات)	١٤٣,٨٥ (١٠٧,٢٧)	١٤٧,٤٨ (١٠٩,٩٧)	١٤٦,٧٣ (١٠٩,٤٢)	١٣٦,٧٩ (١٠٢,٠٠)	١١٧,٨١ (٨٧,٨٥)	٩٠,٣٨ (٦٧,٣٩)
السرعة - ميل/س (كم/ س)	٦,٨٦ (١١,٠٤)	٦,١٦ (٩,٩٢)	٥,٤٧ (٨,٨١)	٤,٧٦ (٧,٦٦)	٤,١٠ (٦,٥٩)	٣,٤١ (٥,٤٨)
الانزلاق٪	١,٩٤	٢,٢٢	٢,٥٨	٢,٧٦	٢,٧٦	٢,٥٨

أداء الشبك الثلاثي النقاط (الاختبار الاستاتيكي- SAE)

أقصى ضغط مشاهد - رطل/ بوصة٢ (بار)	٢٥٣٠ (١٧٤)
المكان	مخرج التحكم
درجة حرارة زيت الهيدرولي °ف (°م)	١٣٧ (٥٨)
المكان	مضخة النقل
الفئة	III
الشبك السريع	نعم

مسافة نقطة الشبك					
لمستوى سطح الأرض - بوصة (م)	٩,٠ (٢٩٩)	١٦,٠ (٤٠٦)	٢٥,٠ (٦٣٥)	٣٣,٠ (٨٣٨)	٤٠,٠ (١٠١٦)
قوة الرفع على الاطار رطل	٨٧٠٠	٩٢٢٨	٩٤٣٢	٨٩٤٤	٨٢٨٣
قوة الرفع على الاطار (كيلونيوتن)	(٣٨,٧)	(٤١,٠)	(٤٢,٠)	(٣٩,٨)	(٣٦,٨)

مع ٤٤-١ م أسطوانة رفع مساعدة

مسافة نقطة الشبك					
لمستوى سطح الأرض - بوصة (م)	٩,٠ (٢٢٩)	١٦,٠ (٤٠٦)	٢٥,٠ (٦٣٥)	٣٣,٠ (٨٣٨)	٤٠,٠ (١٠١٦)
قوة الرفع على الإطار رطل	٩٨٦٠	١٠٥٧٠	١٠٨٥٤	١٠٢٢٤	٩٤١١
قوة الرفع على الإطار (كيلونيوتن)	(٤٣,٩)	(٤٧,٠)	(٤٨,٣)	(٤٥,٥)	(٤١,٩)

مع ٥٥-١ م اسطوانة رفع مساعدة

مسافة نقطة الشبك					
لمستوى سطح الأرض - بوصة (م)	٩,٠ (٢٢٩)	١٦,٠ (٤٠٦)	٢٥,٠ (٦٣٥)	٣٣,٠ (٨٣٨)	٤٠,٠ (١٠١٦)
قوة الرفع على الإطار رطل	١٠٥١٨	١١٤٣٤	١١٥٧٦	١٠٧٣٧	١٠٠٤١
قوة الرفع على الإطار (كيلونيوتن)	(٤٦,٨)	(٥٠,٩)	(٥١,٥)	(٤٧,٨)	(٤٤,٧)

تابع شكل ١٠,٤.

الإطارات والوزن		مع أوزان أضافية	بدون أوزان أضافية
الإطارات الخلفية	- رقم ، مقاس، تيل ، رطل / بوصة٢ (ك. بسكال)	أربعة (85) 12;**;20.8R42	أثنان (110) 16 ;**;20.8R42
وزن أضافي	- ثنائيات (المجموع)	١٩٥٠ رطل (٨٨٥ كجم)	بدون
	- حديد زهر (المجموع)	١٠٠٠ رطل (٤٥٤ كجم)	بدون
الإطارات الأمامية	- رقم ، مقاس، تيل ، رطل / بوصة٢(ك. بسكال)	أثنان (165)24;***;16.9R30	أثنان (165)24;***;16.9R30
وزن أضافي	- معّدة الاختبار(المجموع)	٢٣٠ رطل (١٠٤ كجم)	بدون
	- حديد زهر (المجموع)	١٥٠٠ رطل (٦٨٠ كجم)	بدون
ارتفاع قضيب الشد		٢٠,٥ بوصة (٥٢٠ م)	١٩ بوصة (٤٨٥ م)
الوزن الاستاتيكي	- خلفي	١٤٢٤٥ رطل (٦٤٦١ كجم)	١١٥٩٠ رطل (٥٢٥٧ كجم)
	- أمامي	٨٦٠٠ رطل (٣٩٠١ كجم)	٦٥٧٥ رطل (٢٩٨٢ كجم)
	- المجموع	٢٢٨٤٥ رطل (١٠٣٦٢ كجم)	١٨١٦٥ رطل (٨٢٣٩ كجم)

أداء الشبك الثلاثي النقاط (الاختبار الاستاتيكي- OECD)

الفئة : (٣)

الشبك السريع: نعم

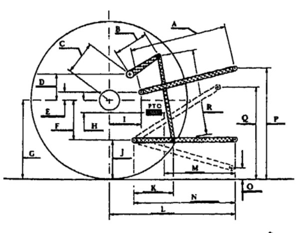
أقصى قوة منتجه من خلال المدى الكلي:	٥٨٢١ أرطال (٢٥,٩ كيلو نيوتن) ٦٦١٤* أرطال (٢٩,٤ كيلو نيوتن) ٧٠٥٧ ** أرطال (٣١,٤ كيلو نيوتن)
١ـ فتح ضغط صمام التنفيس:	NA
الضغط للحمي عند رفع المضخة	٢٥٣٠ رطل/ بوصة٢ (١٧٤ بار)
٢ـ معدل تصرف المضخة عند أقل ضغط	٣١,٦ جم/ د (١١٩,٦ لتر/ د)
٣ـ معدل تصرف المضخة عند أقصى	
قدرة هيدرولية: ٣٠,٦ جم/ د (١١٥,٨ لتر/ د)	
ضغط تصرف :	١٧٥٠ رطل/ بوصة٢ (١٢١ بار)
قدرة :	٣١,٢ حصان (٢٣,٣ كيلوواط)

* مع ٤٤ م أسطوانة رفع مساعدة

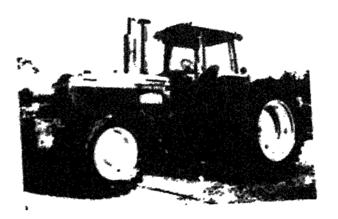
* مع ٥٥ م أسطوانة رفع مساعدة

	بوصة	مم		بوصة	مم
A	٢٨,١	٧١٤	K	٢٨,٢	٧١٦
B	١٨,٤	٤٦٨	L	٤٤,٣	١١٢٤
C	١٢,٩	٣٢٧	L'	٤٩,٣	١٢٥١
D	١٢,٩	٣٢٧	M	٢٢,٣	٥٦٥
E	٦,٨	١٧٢	N	٣٨,١	٩٦٨
F	١٣,٠	٣٣٠	O	١٠,١	٢٥٧
G	٣٦,١	٩١٨	P	٤٥,١	١١٤٦
H	٧,٠	١٧٧	Q	٤٢,٥	١٠٨٠
I	١٥,١	٣٨٤	R	٣٧,٣	٩٤٦
J	٢٣,١	٥٨٨			

L' إلي نهاية الشبك السريع



أبعاد الشبك كما قيست بدون حمل



جرار زراعي چون دير، ناقل آلي، ديزل.

تمارين على الفصل الرابع

١ , ٤ استخدم بيانات اختبار نبراسكا رقم ١٦٢١ ، الشكل رقم (١٠ , ٤)، لحساب: (أ) انتظام الحاكم. (ب) السرعة عند قمة العزم كنسبة من السرعة المقررة. (جـ) ماهو العزم الاحتياطي للمحرك كما هو مقرر في اختبار نبراسكا. يمكنك فرض السرعة العظمى للحاكم مثل السرعة المقررة في اختبار نبراسكا.

٢ , ٤ أعد حل التمرين رقم (١ , ٤)، ماعدا استخدم بيانات اختبار نبراسكا المحدد بواسطة المدرس.

٣ , ٤ باستخدام بيانات اختبار القدرة القصوى على الترس الخامس من اختبار نبراسكا رقم ١٦٢١ ، الشكل رقم (١٠ , ٤) احسب: (أ) كثافة الهواء المحيط. (ب) المعدل النظري لاستهلاك الهواء للمحركات ذات الشاحن التربيني والتبريد الإضافي. (جـ) الضغط. (د) درجة حرارة الهواء عند الفتحة الرئيسة للمدخل. (هـ) الكفاءة الحجمية التقديرية للمحرك. (و) الهواء المستهلك بواسطة المحرك. (ز) نسبة الهواء/ الوقود للمحرك. (ح) النسبة المكافئة للمحرك. ماذا يكون (ط) استهلاك الهواء، نسبة الهواء/ الوقود في حالة إزالة المبرد الإضافي من المحرك. في حل الجزء (جـ) للمحرك، لاحظ أن الدفع المقاس عند القدرة القصوى معطى في التقرير. وفي حل الجزء (د) أفرض أن كفاءة ضاغط الشاحن التربيني = ٠,٧ .

٤ , ٤ أعد حل التمرين رقم (٣ , ٤)، ماعدا استخدم بيانات اختبار نبراسكا المحددة بواسطة المدرس.

٥ , ٤ باستخدام بيانات اختبار نبراسكا (OECD) رقم ١٦٢١، شكل رقم (١٠ , ٤) احسب: (أ) المسافة (X_2)، بمعنى، المسافة الأفقية من مركز المحور الخلفي إلى مركز ثقل الجرار (لاحظ أنه تم الحصول على توزيع الوزن في الشكل رقم (١٠ , ٤) في حالة عدم وجود أثقال الموازنة ماعدا الخزانات المملوءة وكذلك كتلة قدرها ٧٥ كجم على كرسي الجرار). (ب) ثم، بفرض أن حمل قضيب الشد الأفقي متصل بقضيب الشد، احسب معامل الوزن الديناميي (C_{dw}). (جـ) لكل ترس مستخدم في اختبار قضيب الشد عند القدرة القصوى للتروس المختارة، احسب (R_r)و (R_f) وارسم ردود فعل التربة مقابل الشد على قضيب الشد.

٦ , ٤ افترض أن الجرار في التمرين رقم (٥ , ٤) يعمل في تربة، دليل المخروط لها = ٥ , ١ نيوتن/م٢ (تربة متماسكة جدًا). (أ) استخدم المعادلات أرقام من (٣ , ٤) إلى (١٥ , ٤) عند الحاجة. احسب أقصى شد على قضيب الشد والذي يستطيع أن ينتجه الجرار عند ١٠٪ انزلاق للعجل حينما يشد محراثًا نصف معلق. ولتبسيط التمرين افرض أن الدفع الأمامي المساعد مفصول. يلاحظ أنه يمكن استخدام المواصفة القياسية للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم (S 220)للحصول على الأبعاد اللازمة للإطارات، أو يمكن حساب الأبعاد من مقاس العجل كما هو موضح في النص. لاحظ أيضًا أن الحل على مراحل ضروري في هذه الحالة، حيث إن الشد يعتمد على قيمة رقم العجلة، ويعتمد رقم العجلة على الحمل على الإطار، وبسبب انتقال الوزن، فإن حمل الإطار يعتمد على الشد. لذلك قد توفر بعض الوقت بإعداد برنامج على الحاسب الآلي لحساب حدود الشد المتاح. أثناء التكرارات، إذا أصبح الشد كبيراً بدرجة كافية لتقليل رد الفعل الرأسي للعجلة الأمامية إلى أن يصل إلى الصفر، حينئذ لاتكون هناك حاجة إلى تكرارات إضافية حيث إن الوزن الكلي للجرار في هذه الحالة يكون محمولاً على المحور الخلفي. (ب) أعد حل الجزء (أ) لكن استخدم انزلاقًا للعجل يساوي ١٥٪. (جـ) أعد حل الجزء (أ) لكن استخدم انزلاقًا للعجل يساوي ١٠، ١٥، ٢٠، ٢٥ و ٣٠٪ ثم ارسم منحنى يوضح أقصى

شد مقابل انزلاق العجل.

٤,٧ مثل التمرين رقم (٤,٦) ماعدا أن دليل مخروط التربة ٥,٠ نيوتن/م[٢] (تربة متوسطة القوام).

٤,٨ مثل التمرين رقم (٤,٧) ماعدا أن دليل مخروط التربة ٠,٢٥ نيوتن/م[٢] (تربة خفيفة القوام).

٤,٩ (أ) باستخدام بيانات التمرين رقم (٤,٦) والمعادلة رقم (٤,١٦)، اوجد دليل المخروط قبل وبعد مرور العجلات الخلفية للجرار (اهمل أي دمج للتربة نتيجة مرور العجلات الأمامية). (ب) ثم استخدم المعادلة رقم(٤,١٧) لتقدير كثافة التربة الجافة قبل وبعد مرور العجلة بفرض أن (m_s) = ١٧٪. استخدم الثوابت التالية في المعادلة رقم (٤,١٧): (ρ_{do}) = ١,٠ ميجاجرام/م[٣]، (CI_o) = ١٠٠٠ كيلوبسكال (١ نيوتن/م[٢])، (C_o) =١,٥(بدون وحدات)، (m_{so}) = ٥٪، (n) = ٠,١٣٣٣.
(جـ) أخيراً استخدم المعادلة رقم (٤,١٨) لتحديد التغيير في إنتاجية المحصول نتيجة مرور العجلات الخلفية. تعطي الثوابت اللازمة للاستخدام في المعادلة رقم (٤,١٨) في الجدول الموجود أدناه. افترض أن الظروف تشابه ظروف عام ١٩٨١ في الجدول (لاحظ أن المعادلة رقم (٤,١٧) تكون حساسة جداً لقيمة (m_s) والمعادلة رقم (٤,١٨) حساسة جداً لقيمة (ρ_d) . لذا تكون المعادلات مفيدة لتوضيح الاتجاهات لكنها ليست من أجل الحصول على تنبؤ حقيقي للإنتاجية).

السنة	نوع التربة	Yi (ميجاجم/ هـ)	ρ_{di} (ميجاجم/ م[٣])	Cy
١٩٧٦	طينية	١٦,٠	٠,٩٩	٥,٧٤
١٩٧٧، ١٩٨٠	طينية	١٢,٣	١,١٣	١٧,٩٦
١٩٨١	طفلية-رملية	١١,٤	١,٣٧٥	٩,٤٦

المحصول هو سيلاج الذرة.
مصدر البيانات.

٤,١٠ مثل المسألة رقم (٤,٩)، ماعدا أن (m_s) = ٢٠٪.

الفصل الخامس

حراثة التربة
Soil Tillage

● الطرق والمعدات ● ميكانيكا أسلحة الحراثة
● أداء معدات الحراثة ● شبك معدات الحراثة●
تمارين على الفصل الخامس

مقدمة

يمكن تعريف الحراثة على أنها عملية تفتيت التربة الناتجة عن التأثير الآلي عليها لأي غرض، لكن عادة لزراعة المحاصيل. وفي الزراعة، تتمثل الأهداف الرئيسة للحراثة في:

١ ـ الحصول على تركيب بنائي مرغوب لمهد البذور أو الجذور. يكون التركيب الحبيبي للتربة مرغوبًا فيه لأنه يسمح بمعدل تسرب سريع واحتفاظ جيد لمياه المطر، وذلك ليعطي سعة وتبادل هوائي كافيين خلال التربة، ولتقليل مقاومة اختراق الجذور إلى الحد الأدنى. من ناحية أخرى، فإن المهد الجيد للبذور بصفة عامة هو الذي يتضمن وجود حبيبات أصغر وتماسك أكثر وتجاور أفضل بين حبيبات التربة حول البذور، ليعزز امتصاص الرطوبة اللازمة للإنبات بواسطة البذور.

٢ ـ لمكافحة الحشائش أو للتخلص من النباتات المحصولية غير المرغوب فيها (عملية الخف).

٣ ـ للاستفادة من بقايا النباتات. الخلط التام للبقايا مرغوب فيه من وجهة نظر الحراثة والتحلل، حيث إن الاحتفاظ ببقايا النباتات على سطح التربة أو داخل طبقاتها العليا يقلل من التعرية. ومن ناحية أخرى، تكون التغطية الكاملة لبقايا النباتات ضرورية في بعض الأحيان لمكافحة الحشرات الشتوية (لتعريض بعض الحشرات أثناء بياتها الشتوي، لظروف البرد القارس للقضاء عليها) أو لمنع التداخل

مع العمليات الدقيقة مثل عمليات الزراعة ورعاية محاصيل معينة.

٤ـ لتقليل تعرية التربة (إلى الحد الأدنى) باتباع تطبيقات معينة مثل: الحراثة الكنتورية، والجدولة، والوضع الأمثل لبقايا النباتات.

٥ـ للحصول على أشكال محددة لسطح التربة من أجل الزراعة، والري، والصرف أو عمليات الحصاد.

٦ـ لدمج وخلط الأسمدة الكيماوية، والأسمدة العضوية، المبيدات الحشرية أو محسنات التربة مع التربة.

٧ـ لعزل مع ماقد يكون في التربة (اتجاه الفصل). وقد يتضمن ذلك تحريك تربة من طبقة إلى أخرى، والتخلص من الصخور والأجسام الغريبة الأخرى، أو حصاد جذور المحاصيل.

١,٥ الطرق والمعدات

يُعَرَّف سلاح الحراثة في هذا المرجع على أنه أداة فردية مرتبطة بالتربة مثل بدن المحراث أو القرص. تتكون معدة الحراثة من سلاح مفرد أو مجموعة أسلحة، مرتبطة بالإطار المشترك، والعجلات، ونقاط الشبك، ووسائل التحكم والحماية وأي أجزاء لنقل القدرة. في معدات الحراثة، تتكوَّن منظومة العمليات من أسلحة الحرث، بينما تشكل الأجزاء الأخرى أنظمة المساندة.

يختار المزارعون، في كل مكان في العالم، من بين مختلف المعدات المستخدمة في حراثة التربة. يعتمد مجموع المعدات التي يختارها المزارع الواحد على العادات المحلية، ونوع المحصول، ومستوى رطوبة التربة، ونوع التربة وعلى قدر البقايا النباتية من المحصول السابق. تتأثر عملية اختيار معدات الحراثة بمدى توفر المعدات، ووحدات القدرة، والعمالة، ورأس المال.

تُشكل تعرية التربة بواسطة الرياح أو بحركة المياه مشكلة، حيث تُنزل بالزراعة كوارث في العديد من أنحاء العالم. فهي تزيل أو تنقل المغذيات والمواد الكيماوية الأخرى من الأرض كما تنقل التربة تمامًا. بدأ المزارعون في أمريكا الشمالية في استخدام نظام الحراثة المرشدَّة، يمكن أن تقلل ممارسة عملية الحراثة المرشدَّة من

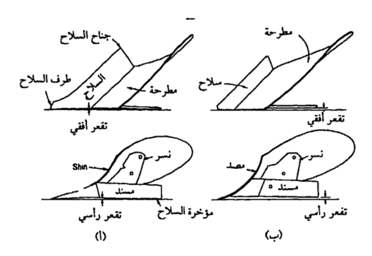
الوقت والطاقة المطلوبين لعملية الحراثة، على الرغم من أن هذه الممارسة تتطلّب بصفة متكررة استفادة أفضل من الحراثة التقليدية.

١,١,٥ نظام الحراثة التقليدية

يتم تصنيف عمليات الحراثة لإعداد مهد البذرة غالبًا على أنها إما حراثة أولية أو ثانوية، على الرغم من أن الفرق بينهما غير واضح دائمًا. تعتبر عملية الحراثة الأولية، العملية الأولية والرئيسة في تشغيل التربة بعد حصاد المحصول السابق، وهي عادة تصمم لتقليل مقاومة التربة وتغطية المواد النباتية وتغيير التركيب الحبيبي لها. أما عمليات الحراثة الثانوية فهي مرغوبة لخلق حالات تربة محسنة بعد الحراثة الأولية. عملية الحراثة الأخيرة التي تسبق زراعة المحصول هي عادة الحراثة الثانوية، ولكن قد يستخدم المزارعون أكثر من عملية حراثة ثانوية واحدة. وفي بعض الحالات، قد تناسب عملية الحراثة تعريف كل من الحراثة الأولية والثانوية. فعلى سبيل المثال، قد يُعد المزارع الحقل من أجل زراعة قمح شتوي مع عملية تمشيط فردية بعد حصاد فول الصويا. فعملية التمشيط الفردية هذه تمثل كلاً من الحراثة الأولية بعد الحصاد وعملية الحراثة النهائية قبل الزراعة.

الحراثة الأولية. يستخدم معظم المزارعين عملية حراثة أولية واحدة فقط بعد حصاد المحصول. يكون الاستثناء من هذا عندما يستخدم المزارع محراثًا تحت التربة في الخريف بعد الحصاد ثم يعقبه بحراثة أولية أخرى في الربيع. والمعدات المستخدمة في الحراثة الأولية هي المحاريث القلابة المطرحية، والمحاريث القلابة القرصية والرأسية، والمحاريث الحفارة، ومحاريث تحت التربة، ومحاريث وحراثات الجذامة (حراثة التربة مع الحفاظ على بقايا النباتات فوقها)، والمحاريث الدورانية، وآلات فتح القنوات والفجاجات.

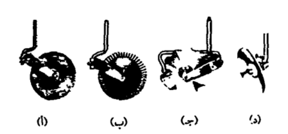
المحاريث القلابة المطرحية. كل المحاريث القلابة المطرحية مزودة بسلاح حراثة أو أكثر تسمى أبدان المحراث، الشكل رقم (٥,١). بدن كل محراث يكوّن شكلاً ذا ثلاثة جوانب مسلوبة مع المسند، ويعمل المستوى الأفقي للحد القاطع للسلاح كجوانب مسطحة، بينما تعمل قمة السلاح مع المطرحة جانبًا مقعراً.



ـل ٥,١. أبدان محراث قلاب مطرحي نموذجية (أ) سلاح منقاري الشكل يوضح طريقة قياس التقعر في حالة عدم وجود عجلة أخدود خلفية أو جهاز للتحكم في العمق، (ب) مع سلاح قاذف (مقدوفي)، موضحًا الخلوص عند استخدام عجلة الأخدود الخلفية. (عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978.)

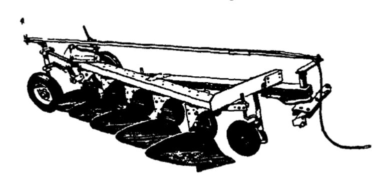
مثل الوظائف الأساسية لبدن المحراث في قطع شريحة الأخدود، نثر التربة ـب الشريحة لتغطية بقايا النباتات. تُزوَّد معظم المحاريث القلابة أيضًا بأسلحة ـئة تسمى السكين القرصية للمساعدة في قطع شريحة الأخدود وللقطع خلال ـيا النباتية التي قد تتجمع على القصبة أو إطار المحراث وتسبب إعاقة حركته، ـل رقم (٥,٢). وتقطع القصبة الحافة الرأسية لشريحة الأخدود التي لم تُقطع ـطة السكين الدورانية. تكون الأبدان بالاشتراك مع السكاكين القرصية مسؤولة داء وظيفة المحراث القلاب المطرحي.

المحاريث القلابة المطرحية هي أكثر المعدات المستخدمة في الحراثة الأولية ـعًا، ولكنها لم تستخدم مطلقًا في الحراثة الثانوية. فهي تزوَّد دائمًا بأدوات ضبط ـد من أفقيتها في الاتجاهين الطولي والعرضي وكذلك للتأكد من أن البدن موجهًا سند ليكون موازيًا لاتجاه الحركة. يبين الشكل رقم (٥,٣) محراثًا قلابًا مطرحيًا ـسة أبدان.



شكل ٥,٢ . (أ) سكين قرصية مسطحة مع زنبرك، (ب) سكين قرصية مموّجة الحافة، (جـ) سكين قرصية معرجة الحافة مركب عليها مكشطة، (د) سكين قرصية مقعرة أو مكشطة قرصية.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978.)



شكل ٥,٣ . محراث قلاب مطرحي نصف معلق ذو خمسة أبدان. (عن: ASAE)

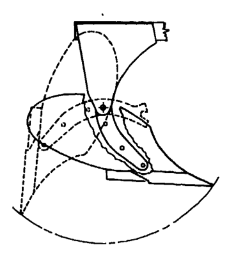
الأنماط الثلاثة المتاحة لشبك المحراث القلاب المطرحي هي: معلق، ونصف معلق، ومقطور. تشبك المحاريث المعلقة ونصف المعلقة مع نقاط الشبك الثلاث للجرار، ولكن يشبك المحراث المجرور مع عمود الجر للجرار.

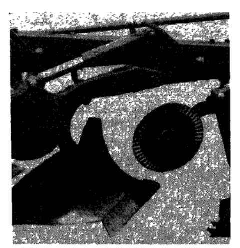
يُسند المحراث القلاب المطرحي المعلق، في وضع النقل، بالكامل بواسطة الجرار. تزود عجلة الأخدود الخلفية المحراث المعلق بدعامة رأسية وجانبية بجانب الشبك عندما يكون المحراث في وضع التشغيل. يتم التحكم في عمق الحرث لمحراث معلق دائمًا بتغيير الوضع الرأسي لشبك الجرار. يُدعم المحراث نصف المعلق من الأمام بشبك الجرار ومن الخلف بعجلة الأخدود الناقلة للمحراث في كلتي حالتي النقل والتشغيل. تُرفع مقدمة المحراث وتخفض بواسطة وسيلة شبك الجرار بينما ترفع مؤخرته وتخفض بواسطة أسطوانة هيدرولية منفصلة. يدعم المحراث

ـلاب المطرحي المقطور بالكامل بعـجـلاته الناقلة. ويرفع ويخـفض بواسطة
أوانة هيدرولية منفصلة.

ثمن شراء المحاريث القلابة المطرحية المعلقة أقل ومقدرتها في المناورة أفضل
الحقول الصغيرة غير المتنظمة. ولكنها محدودة في حجمها بسبب اتزان الجرار
ـة الشبك الرافعة. تُقاد عجلة الأخدود الناقلة للمحراث نصف المعلق آليًا لتوفر
رة على المناورة أكثر من المحراث المقطور. تحسن كل من المحاريث المعلقة ونصف
قة من قوة الشد للجرار وذلك بإضافة قوة رأسية إلى أسفل على نقاط الشبك.
ي المحاريث المقطورة عمق حرث أكثر انتظامًا، ولكنها أغلى ثمنًا.

تحتوي بعض الأراضي الزراعية على صخور تكون مختبئة تحت سطح التربة.
ن أن يُحدث تصادم الصخرة عند سرعة عالية ضرراً لسلاح أو لإطار معدة
رائة. تزوَّد المحاريث القلابة المطرحية دائمًا بقواعد آلية للإرجاع والتي تسمح
ن المحراث بالحركة للخلف ولأعلى لتتجاوز العقبة بدون ضرر. بعد تجاوز
ـبة، يتحرك البدن آليًا إلى موضعه الأصلي بواسطة أسطوانة هيدرولية أو زنبرك
، الشكل رقم (٤,٥).

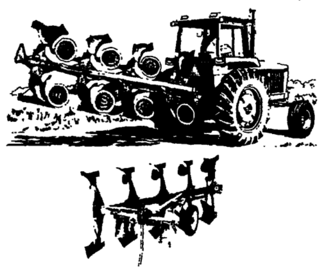




ل ٤,٥. آليات الإرجاع الزنبركية (يسار)، والهيدرولية (يمين) المستخدمة كوسائل حماية من الأحمال الزائدة للمحاريث القلابة المطرحية.

(Left- Principles of Farm Machinery, Kepner et al., Right- Deere & Co. .: عن)

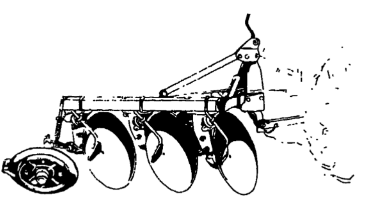
صممت معظم المحاريث القلابة المطرحية لقلب شريحة التربة ناحية اليمين فقط. لهذا السبب فإن المحاريث ذات الاتجاهين لها مجموعتان من الأبدان المتعاكسة والتي يمكن استعمالها اختياريًا. مع هذا الترتيب، يمكن قلب كل الأخاديد على نفس الجانب من الحقل باستخدام الأبدان اليمنى لاتجاه معين للحركة والأبدان اليسرى في مشوار العودة. مجموعتا الأبدان مركبة على إطار عام والذي يدور ١٨٠° على المحور الطولي للتغيير من مجموعة إلى أخرى كما هو مبين في الشكل رقم (٥,٥). في معظم الحالات، يتم الدوران باستخدام أسطوانة هيدرولية والتي تُشكل جزءًا من المحراث. يتخلص المحراث ذو الاتجاهين من الأخاديد الخلفية والأخاديد الميتة، تاركًا الحقل أكثر استواء تقريبًا للري والصرف. المحاريث ذات الاتجاهين مفيدة أيضًا في الحقول المستوية أو الحرث على خطوط متعرجة وفي الحقول الصغيرة ذات الشكل غير المنتظم.



شكل ٥,٥. محراث معلق ذو اتجاهين. (عن: ASAE)

المحاريث القرصية. يتكون المحراث القلاب القرصي القياسي من مجموعة من الأسلحة القرصية مثبتة كل على حدة على إطار كما هو مبين في الشكل رقم (٦,٥). توضع الأسلحة القرصية على زاوية من خط الحركة الأمامي تسمى زاوية القرص وأيضًا على زاوية من الرأسي تسمى زاوية الميل، كما هو مبين في

كل رقم (٧,٥). تحتوي المحاريث القرصية القياسية عادة على مايتراوح من ثلاثة ستة أسلحة متباعدة لقطع مايتراوح من ١٨ إلى ٣٠ سم/ قرص. بينما تتغير زوايا ص من ٤٢ إلى ٤٥°، وتتغير زوايا الميل من ١٥ إلى ٢٥°. ويتراوح قطر القرص ة من ٦٠ إلى ٧٠ سم. يشبه قرص الحراثة المحراث القرصي فيما عدا أن الأسلحة ن مركبة على محور واحد وليس لها زاوية ميل. قطر القرص أقل قليلاً (٥٠ إلى سم) وتتراوح زاوية القرص عمومًا من ٣٥ إلى ٥٥°.

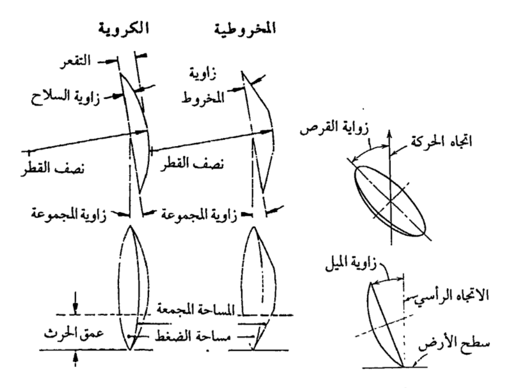


شكل ٦,٥. محراث قلاب قرصي ذو ثلاثة أقراص. (عن: ASAE)

الأقراص المستخدمة في المعدات القرصية إما أن تكون مخروطية أو كروية اعات من كرات فارغة). لكل من السلاحين نصف قطر كروي مشاركًا مع تقعر لحة كما هو مبين في الشكل رقم (٧,٥). السلاح المخروطي له سطح خارجي طح (منبسط) لزاوية مخروطية معينة. تُعرف زاوية السلاح لسلاح كروي على المماس عند حافة المساحة السطحية للسلاح.

تستخدم المحاريث القرصية للحراثة الأولية وهي متوفرة في أنماط شبك معلقة ف معلقة ومقطورة. وهي تناسب الظروف التي لاتعمل تحتها المحاريث القلابة حية بشكل مرض، كمثال في الأراضي الصلبة، والجافة وفي الأراضي اللزجة لايقلبها المحراث القلاب المطرحي. تم وضع المكاشط على أنها معدة قياسية على م المحاريث القرصية، وتساعد في تغطية بقايا النباتات وقلب التربة ومنع تكومها حالة الأراضي اللزجة. المحراث القلاب القرصي ذو الاتجاهين له ترتيب معين،

يمكن بواسطته عكس زاوية القرص عند كل من نهايتي الحقل للسماح بالحرث في اتجاه واحد.

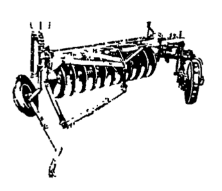


شكل ٥,٧. (أ) الشكل الهندسي لسلاح قرصي، (ب) زاوية القرص وزاوية الميل. (عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978.)

في معظم الحالات، وبخاصة في الأراضي الصلبة، الجافة، يجب أن يدفع أي سلاح قرصي إلى الأرض تحت تأثير وزنه بدلاً من الاعتماد على التقعر كما يحدث في المحراث القلاب المطرحي. بناءً عليه، تُصنع المحاريث القرصية القياسية بإطارات وعجلات ثقيلة (تتراوح الكتلة الكلية من ١٨٠ إلى ٥٤٠ كجم/ سلاح قرصي)، وعلى الرغم من هذا، يجب أحيانًا زيادة كتل إضافية لتعطي العمق المطلوب. تعتمد مقدرة المحراث القرصي في اختراق التربة على قطر القرص، وزاوية الميل وزاوية القرص. وحيث إن المحراث القلاب المطرحي يمتص القوى الجانبية أساسًا من خلال المسند، فإن المحراث القرصي يجب أن يعتمد على عجلاته في هذا الغرض.

ﻻ يحتوي المحراث القلاب القرصي القياسي على ملحقات لحماية سلاحه
ي من الضرر الناتج عن تصادمه بالصخور المدفونة في التربة. عادةً، يكون
ث القرصي قادراً على تحمل القوى التصادمية بسبب إطاره الثقيل وسرعة
البطيئة.

أقراص الحراثة. يُعرف المشط القرصي أيضًا على أنه محراث قرصي ذو
حد، المحراث القرصي الرأسي، مسلفة، أو محراث أراضي القمح. وهو
حراث القرصي القياسي بالنسبة للإطار، والعجلات والتحكم في العمق،
كون الأسلحة القرصية موزعة بانتظام على محور عادي ومثبتة معه خلال
تباعدية لذلك فإن المحور يدور بالكامل كوحدة واحدة. تستخدم هذه المعدة
طق الجافة لزراعة الحبوب في الحرث السطحي (يتراوح عادة من ٨ إلى ١٣
خلط بقايا النبات مع التربة. ويترك سطح التربة خشنًا غير مستو مع وجود
اتات مرئية لتقليل نحر التربة. تستخدم أقراص الحراثة في الحراثة الأولية
خدم بصفة مستمرة في الأراضي المتروكة بدون زراعة خلال فصل الصيف
ضي المراحة صيفًا). تزوَّد بعض أقراص الحراثة بملحقات للبذور والسماد
مرقد البذور للأراضي المراحة صيفًا، زراعة وتسميد في عملية فردية واحدة.
أسلحة قرص الحراثة تكون أصغر بعض الشيء من أسلحة المحراث القرصي
ي، تتراوح الأقطار الأكثر شيوعًا من ٥١ إلى ٦١ سم. وتتراوح المسافات بينها
ول محور التثبيت من ٢٠ إلى ٢٥ سم. يعتمد عرض القطع لكل سلاح على
ات البينية وعلى زاوية المجموعة (قابلة للضبط) بين محور المجموعة واتجاه
. تتراوح زوايا المجموعة من ٣٥ إلى ٥٥°، وتتراوح الزاوية الأكثر شيوعًا من
ى ٤٥°. وقرص الحراثة موضح في الشكل رقم (٥,٨).
حيث إن أقراص الحراثة تستخدم في البداية في الحرث السطحي نسبيًا، فقد
ها أخف كثيراً من المحراث القرصي القياسي (تتراوح عادة من ٤٥ إلى ٩٠
سلاح). وهي تتوفر لأنماط الشبك المعلقة ونصف المعلقة والمقطورة. معظم
الحراثة تحرك التربة ناحية اليمين فقط، ولكن تتوفر النماذج ذات الاتجاهين
يمكنها تحريك التربة في أي من الاتجاهين.



شكل ٥,٨. قرص حراثة ذو اتجاه واحد مقطور (محراث أرض القمح).
(عن: ASAE.)

المحاريث الحفارة ومحاريث تحت التربة. صمم المحراث الحفار خصيصًا للحراثة الأولية على أعماق تتراوح من ١٥ إلى ٤٦ سم. القصبات هي الأسلحة المعشقة مع التربة وتكون مجهزة بنقاط قابلة للاستبدال أو مجارف، الشكل رقم(٥ ,٩). وهي تحطم، وتخلط وتهوي التربة مع تقليبها تقليبًا بسيطًا مع تغطية قليلة لبقايا النباتات. تعمل المحاريث الحفارة بفاعلية أعلى عندما تكون التربة جافة وثابتة لأن الأسلحة يمكن أن تمر خلال التربة الرطبة بدون تأثير تحطيمي تقريبًا. وهي تترك سطح التربة مموّجًا دون تغطية معظم بقايا النباتات. تساعد هذه الحالة على منع التعرية بواسطة الرياح أو المياه بينما تحسن من اختراق المياه للتربة.



شكل ٥,٩. محراث حفار مقطور ذو قصبات مثبتة تثبيتًا تامًا. (عن: ASAE)

يتطلَّب المحراث الحفار تقريبًا نصف قوة الشد اللازمة للمحراث القلاب
ـي لنفس عرض التشغيل وعمق الحرث. لذلك، يُشغل المزارعون المحراث
ـ على عمق أكبر من المحراث القلاب المطرحي لكسر الطبقة الصماء المتكونة
الحرث العادي من أجل تحسين الاختراق للمياه والجذور. وتحت هذه الظروف
تطلبات الشد.

تعمل البقايا النباتية على سطح التربة كعازل وتبطيء من تدفئة التربة وجفافها
ـبيع مقارنة بالتربة العادية الناتجة من الحرث بالمحراث القلاب المطرحي. وجد
الباحثين أن هناك احتياجًا لزيادة معدل استخدام الكيماويات نظرًا لأن المحراث
ار لايدفن بذور الحشائش إلى جانب أن بقايا النباتات قد تمتص بعض هذه
اويات. تحسن البقايا النباتية تحت سطح التربة من مقدرة الجر لمعدات الحصاد
ـالحصاد عندما تكون التربة رطبة.

يتم الحرث بالمحراث الحفار عادةً في آخر الصيف أو في بداية الخريف وتعقبه
حراثة ثانوية أو أكثر أثناء الربيع التالي. يزداد كل من تعرج سطح التربة والقوة
ـة للشد بزيادة سرعة التشغيل. تتوفر المحاريث الحفارة مع أنماط شبك معلقة
ورة. صممت القصبات ليثبت معها زنبرك وسادي، وزنبرك الرجوع أو زنبرك
ـ يوضع لحماية السلاح والإطار من الصدمات مع الصخور المدفونة.

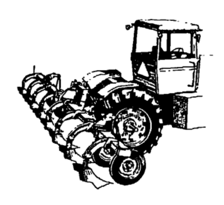
تستخدم محاريث تحت التربة لاختراق وتحطيم التربة المنضغطة، أو بمعنى آخر
ـت التربة عديمة النفاذية وكذلك لتحسين اختراق مياه المطر للتربة. هذه المحاريث
ـايير ثقيلة بحيث يمكن تشغيلها عند أعماق تتراوح من ٤٥ إلى ٧٥ سم أو أكثر.
ـيث تحت التربة تخلط التربة قليلاً ولاتقلبها. وهي أكثر فعالية في حالات التربة
ـة والثابتة. عادة يتبع عملية الحراثة تحت التربة عملية حراثة أولية أخرى قبل
لحراثة الثانوية. تتوفر معظم محاريث تحت التربة مع نمط الشبك المعلق، ولكن
القليل منها مع نمط الشبك المقطور. وتعتمد محاريث تحت التربة بصفة دائمة
ـتصميم المتين للإطار من أجل حمايته أثناء الصدمات مع الصخور المدفونة.
شكل رقم (٥,١٠) محراث تحت التربة مقطوراً ذا إطار على شكل حرف (V)



شكل ١٠,٥. محراث تحت التربة من النوع المقطور ذو إطار على شكل حرف (V). (عن: ASAE)

محاريث وحراثات الجذامة. تصنع محاريث وحراثات الجذامة من كاسحات عريضة على شكل حرف (V) والتي تعمل على أعماق سطحية حوالي ١٠ سم أو أقل. الهدف منها هو قطع جذور الحشائش أسفل السطح تمامًا وترك الجذامة المتبقية من المحاصيل المحصودة السابقة على السطح والتي تؤثر كغطاء لتحتفظ بالرطوبة وتقلل تعرية التربة. يكون عرض كل كاسحة في حدود ١,٥ م. قد يوجد بالمحراث الواحد العديد من الكاسحات. والمحاريث العريضة جدًا لها أجنحة تطوى أثناء النقل. قد تستخدم هذه المحاريث كأسلحة حراثة أولية مباشرة بعد الحصاد أو كأسلحة حراثة ثانوية قبل الزراعة. وعند استخدام حراثة الجذامة للحراثة الأولية، قد يكون من الضروري خلط بعض البقايا السطحية بالتربة باستخدام قرص حراثة أو مشط قرصي قبل الزراعة.

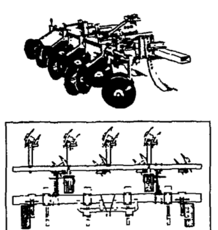
تتألف حراثة الجذامة من مجموعة من المحاريث الحفارة والأمشاط القرصية. ويوجد الجزء القرصي في المقدمة لقطع الجذامة مثل سيقان الذرة، بينما يتمثل الجزء الخلفي في المحراث الحفار والذي ينجز الحرث العميق. وهي تستخدم عندما يكون من الضروري الحرث بعمق لتكسير طبقة الحرث القديمة وعندما يكون من الضروري أيضًا ترك كل مخلفات المحصول على سطح التربة للتحكم في التعرية. يساعد خلط بعض مخلفات المحاصيل على تحسين المادة العضوية في التربة.



ل ١١,٥. خطاط مطرحي مركب خلفيًا مزوّد بعجلات لضبط العمق.
(عن : .ASAE)

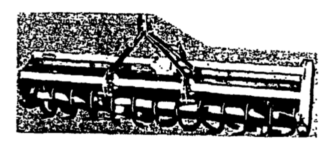
آلات التخطيط وفتح القنوات والفجاجات. تشبه الخطاطات
يث القلابة المطرحية المزدوجة كما هو مبين في الشكل رقم (١١,٥). تستخدم
طات لعمل خطوط الزراعة. أحيانًا، يكون من المرغوب فيه الزراعة في مهد
تجاه معاكس للسطح المستوي لحماية النباتات من الرياح ولوضع البذور أسفل
ب من الرطوبة. تُسطح هذه القمم بسبب الرعاية التي تتم خلال موسم النمو
، وقت الحصاد فيكون الحقل مستويًا. تشبك آلات الزراعة عادةً مع الخطاطات
ـ الزراعة في نفس الوقت. تستخدم الفجاجات أيضًا لعمل بتون أو مهد عندما
من المرغوب فيه الزراعة على بتون في المساحات التي تكثر بها الأمطار. تصنع
'جات من أقراص تعمل في أزواج لتشكيل البتون كما هو مبين في الشكل رقم
٥).

المحاريث الدورانية. تسمى المحاريث الدورانية أيضًا باسم محاريث
ة لأن القدرة تنقل من الجرار إلى المحراث خلال عمود مأخذ القدرة. يوضع
د يحتوي على أسلحة على زاوية ٩٠° مع اتجاه الحركة ويدور في نفس اتجاه
ة الأمامية للجرار. ويتم تنعيم التربة نتيجة دوران العمود بمعدل يعتبر أسرع من
الجرار المتوافقة. يدفع المحراث أيضًا الجرار إلى الأمام ويولد قوة شد سالبة.
على ذلك، يمكن استخدام الجرارات خفيفة الوزن في عمليات الحراثة



شكل ٥,١٢ . فجاج ذو تعليق خلفي مزوَّد بمجموعات قرصية مائلة وموضحًا مع محراث تحت التربة. (عن: ASAE)

الدورانية. تكون القدرة الكلية للمحاريث الدورانية بصفة عامة أعلى من المحاريث التقليدية. ولذلك، قد تكافىء عملية حراثة دورانية واحدة العديد من عمليات الحراثة التقليدية طالما كانت نوعية مهد البذرة موضع اهتمام. يبين الشكل رقم (٥, ١٣) محراثًا دورانيًا.



شكل ٥,١٣ . محراث دوراني بالعرض الكامل ذو تعليق خلفي. (عن: ASAE)

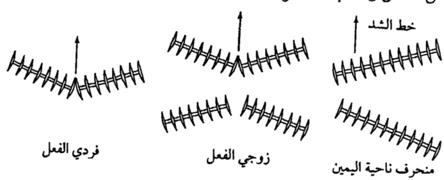
الحراثة الثانوية. تسمى أي عمليات حراثة تتم بعد الحراثة الأولية حراثة ثانوية. بصفة عامة، يتم العديد من عمليات الحراثة الثانوية قبل أن يكون الحقل جاهزاً للزراعة. الهدف الرئيسي من الحراثة الثانوية هو تكسير كتل التربة الكبيرة وإعداد مهد بذرة مثالي للزراعة. والمهد المثالي للبذرة هو الذي يسمح باتصال

ـ بين البذرة والتربة، للاحتفاظ بالرطوبة المطلوبة للإنبات، وتسمح للجذور بأن ن قوية غير مقيدة وأن يكون لها نمو طليق. بصفة عامة، تسمى المعدات تخدمة في الحراثة الثانوية باسم أمشاط. وأكثرها شيوعًا هو المشط القرصي مع ح زنبركي بينما تمثل الأمشاط المسنَّنة أنواعًا أخرى. تستخدم عادة في الأجواء ارة أسطوانات كبس التربة (مهارس) كعملية حراثة أخيرة قبل الزراعة. الغرض استخدام أسطوانة كبس التربة هو زيادة الكثافة لبضع السنتيمترات العليا من عمق بة. ويعمل ذلك على تحطيم الأوعية الشعرية في هذه المنطقة لمنع الرطوبة من روب.

الأمشاط القرصية. تختلف الأمشاط القرصية عن المحاريث القلابة صية في عدم وجود زاوية قرص لها، وفي أن العديد من الأقراص مركبة على ور عام يسمى المجموعة. قد تُرتب المجموعات في أشكال مختلفة كما هو مبين الشكل رقم (١٤,٥). وقد تكون الترتيبات أحادية الفعل، منحرفة أو زوجية مل. ومن الجدير بالذكر أن المجموعات تكون دائمًا في أزواج مع توجيه معاكس قراص لموازنة القوى الجانبية الناتجة من كل قرص. الأمشاط القرصية قد تكون لقة أو مقطورة. عادة تكون الوحدات الصغيرة معلقة بينما تكون الوحدات بيرة لتكون مقطورة مع وجود عجلات للنقل. تستخدم أسطوانات التحكم يدرولية لرفع أو خفض المعدة من مقعد السائق. تصمم بعض الوحدات الكبيرة ًا بحيث تُطوى أثناء النقل. وتسمح الوحدات المقطورة ذات العجلات بتحكم مل في العمق.

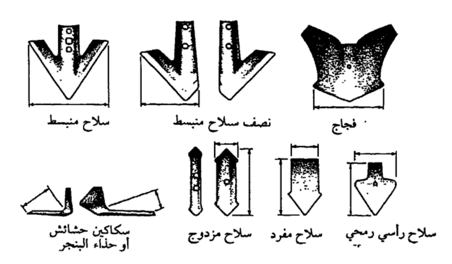
يتحدد حجم الأقراص والمسافات بينها حسب حالة التربة والغرض من مشيط. تستخدم مسافات ضيقة بين الأقراص حوالي ١٨ سم بغرض الإعداد ائي لمهد البذرة عندما لاتكون الأرض صلبة مع وجود بقايا سطحية قليلة. ستخدم مسافات في حدود ٢٣ سم عند خلط الكيماويات أو عندما يكون من غوب فيه قطع النفايات السطحية. تكون هناك حاجة لمسافات بين الأقراص الي ٢٨ سم أو أكثر في حالة التربة الصلبة أو عند وجود نفايات كثيفة. عملية شيط بالأقراص الكبيرة يجب أن يعقبها عملية تمشيط بأقراص صغيرة للحصول

على الإعداد النهائي لمهد البذور. يتحدد عمق التشغيل بكل من حالة التربة ووزن كل قرص من المشط. يتراوح وزن القرص من ٢٠ إلى ٢٠٠ كجم/ قرص. وتتراوح أقطار القرص من ٤٠ إلى ٨٠ سم. تزداد المسافات بين الأقراص بزيادة قطر القرص وكذلك بالنسبة للوزن. تتراوح زاوية المجموعة من ١٥ إلى ٣٥° إذا قيست من خط متعامد على اتجاه السير. قد تتغير زوايا المجموعة لتناسب الظروف الحقلية. وتعمل زيادة زاوية المجموعة على جعل الأقراص أكثر فاعلية في تفتيت التربة، كما أنها تزيد كلاً من التعمق ومتطلبات القدرة.

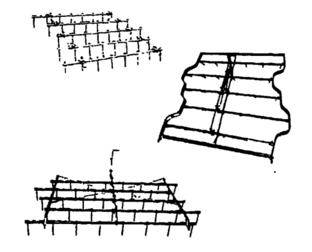


شكل ٥,١٤. طريقة ترتيب الوحدات لثلاثة أنواع عامة من الأمشاط القرصية. (عن: Kepner et al., 1978.)

العزاقات. يوجد أساسًا نوعان من العزاقات. هما العزاقة الحقلية وعزاقة محاصيل الصفوف. تستخدم العزاقات الحقلية عادة كأدوات حراثة ثانوية لإتمام مهد البذرة. العزاقات الحقلية تشبه المحاريث الحفارة في الشكل لكنها تعمل على أعماق أقل. يبين الشكل رقم (٥,١٥) الأنواع المختلفة من الأسلحة التي يمكن شبكها مع قصبات العزاقات لمختلف التطبيقات. قد تكون العزاقات الحقلية من النوع المعلق أو المقطور ذي عجلات التحكم في العمق. تصمم بعض الوحدات الكبيرة جداً بحيث تُطوى أثناء النقل. وقد تتغير المسافات الجانبية بين الأسلحة من ١٥ إلى ٣٠ سم، يستخدم عادة صفان أو ثلاثة صفوف بمسافات أمامية وخلفية تتراوح من ٥٠ إلى ٨٠ سم. تستخدم عزاقات محاصيل الصفوف للعزيق وفي عمليات مكافحة الحشائش أثناء فترة النمو النشطة لمحاصيل الصفوف.



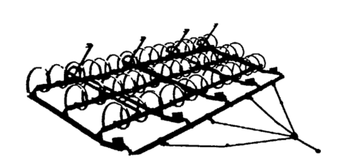
ں ٥,١٥. التصميمات المختلفة لأسلحة العزيق. سلاح مفرد، سلاح مزدوج، سلاح رأسي رمحي، سلاح منبسط، نصف سلاح منبسط يميني ويساري. (عن: Kepner et al., 1978.)



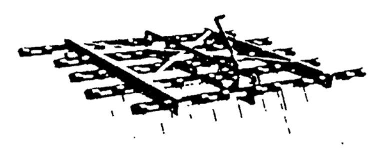
ل ٥,١٦. القطاعات المختلفة المستخدمة في الأمشاط المسننة. (عن: ASAE)

الأمشاط المسنَّنة وذات الأسنان الزنبركية. تستخدم أدوات الحراثة في الإعداد النهائي لمهد البذرة. وتستخدم أيضًا بعد عمليات البذر لتكسير القشرة طحية من التربة وإزالة الحشائش. في الأمشاط المسنَّنة، تركب الأسنان بإحكام ، الإطار، لذلك فقد تكون القضبان المركبة محملة زنبركيًا، الشكل رقم

(٥ ,١٦). وقد تكون زاوية الأسنان متغيرة لتغيير الفعالية. يكون التوجيه الرأسي أكثر فعالية غالبًا. المشط ذو الأسلحة، كما هو مبين في الشكل رقم (٥ ,١٧) يستخدم أسلحة زنبركية تعطي فعلاً إضافيًا لتكسير التربة. تكون الأسلحة أكثر تقاربًا في مسافاتها البينية مقارنة بالأسنان، وهي تتراوح من ٣,٨ إلى ٥ سم. المشط ذو الأسنان الزنبركية، الشكل رقم (٥ ,١٨)، يستخدم سنًا على شكل سلك مستدير مصنوع من الصلب الزنبركي. وتكون هذه الأمشاط أكثر ملاءمة للأراضي الحجرية بسبب الفعل الزنبركي. لذلك فإن افتقادها لمقدرة التعمق يحد من استخدامها في الأراضي غير الصلبة. قد تستخدم كل هذه الأمشاط كملحقات لأسلحة حرث أخرى مثل المحاريث القلابة المطرحية والأمشاط القرصية مما يقلل من متطلبات القدرة. قد يصل عرض بعض هذه الوحدات إلى ١٦ م مع إطارات يمكن طيها أثناء النقل على الطرق.

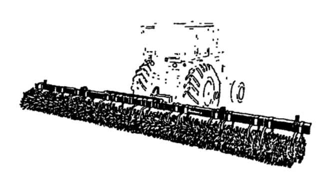


شكل ٥,١٧. مشط ذو أسلحة وذو تعليق خلفي. (عن: ASAE)



شكل ٥,١٨. المشط ذو الأسنان الزنبركية. (عن: ASAE)

المجارف والعزاقات الدورانية. المجارف والعزاقات الدورانية لاتشبه
حاريث الدورانية، ولاتتم إدارتها. وهي مصممة للعمل على أعماق سطحية
ستخدم في مكافحة الحشائش في محاصيل الصفوف، تكسير قشرة التربة من
ل بزوغ أفضل للبادرات وخلط السماد. تصنع المجارف الدورانية من العديد من
جلات نجمية، تسمى عادة العناكب، تُركب على عمود على مسافات بينية حوالي
١ سم لتكوين مجموعة. كل عنكبوت له مايتراوح من ١٠ إلى ١٦ سنًا ويتراوح
ر الرأس من ٤٥ إلى ٥٠ سم. تشكل كل مجموعتين حرتين جزءاً، وتوفر عرض
مغيل يتراوح من ٨ إلى ١٠ سم. يستخدم العديد من الأجزاء في معدة واحدة.
ون عرض الجزء كما هو في آلات عزيق محاصيل الصفوف لتلائم المسافة بين
صفوف. تكون أسنان المجرفة الدورانية مقوسة من الأمام لإعطاء عزيق أكثر
الية. المجرفة الدورانية مبينة في الشكل رقم (١٩, ٥).



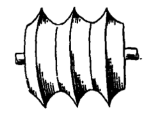
كل ٥,١٩. عزاقة دورانية ذات تعليق خلفي مزودة بقطاعات مرتبة على محور واحد على أذرع محملة زنبركيًا. **(عن: ASAE)**

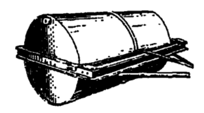
العزاقات الدورانية لها عناكب تشبه عناكب المجارف الدورانية لكن الأسنان لها
نناءات وتأخذ النهايات شكل سلاح المحراث الحفار. تعطي العزاقات الدورانية
ركة جانبية للتربة. يركب اثنان فقط من العناكب على عمود يوضع بزاوية على اتجاه
سير. تدور العجلات العنكبوتية للخلف عند جر المعدة للأمام مسببة التأثير اللازم
حرث. قد تستخدم العزاقة لعزق محاصيل الصفوف أو الحقل بأكمله. العزاقة
دورانية مبينة في الشكل رقم (٢٠, ٥).



شكل ٥,٢٠. عزاقة دورانية بين الصفوف ذات دفع أرضي مزودة بعجلات أصبعية. (من: ASAE)

أسطوانات كبس التربة المجعدة والملساء والمهادات. في الحالات الجافة أو عندما تحتوي التربة على العديد من الكتل، تستخدم أسطوانات كبس التربة المجعدة والملساء أو المهادات لتكسير كتل التربة وللحفاظ على الرطوبة من أجل إنبات أفضل للبذور. تستخدم هذه الأسلحة تقريبًا بصفة دائمة كملحق للأمشاط، الشكل رقم (٥,٢١).





شكل ٥,٢١. أسطوانات كبس التربة الملساء والمجعدة.

٥,١,٢ نظام الحراثة المرّشدة (المحافظة)

صممت نظم الحراثة المرّشدة لحفظ التربة، والماء، والطاقة. في المناطق التي تُعرى فيها التربة بالرياح، يفضل ترك غطاء سطحي على التربة لمنع أو لتقليل تعريتها. وتهمل عملية الحراثة الأولية التي يتم فيها قلب التربة ودفن المخلفات السطحية تحتها. في الأراضي الثقيلة المعرضة للكبس بسبب مرور العجلات عليها، يوصى بإهمال الحراثة الأولية التي تتم أثناء الربيع الرطب. في هذه الحالة تتم مكافحة الحشائش باستخدام المبيدات. بصفة عامة، تحتاج نظم الحراثة المرشدة إلى بعض التعديلات الأخرى في الطريقة والآلة. على سبيل المثال، تكون التعديلات في آلات

اعة مطلوبة للقطع خلال المخلفات السطحية من أجل زراعة البذور. تم إنجاز
، بإضافة سكين قرصية بارزة أمام الفجاج. هناك مستويات مختلفة للحراثة
ـدة. هي أنظمة: أقل حراثة، وحراثة الشرائح، ولاحراثة. ويتمثل نظام
حراثة في عدم وجود عملية حراثة أولية أو ثانوية. في نظام حراثة الشرائح،
ث شريحة صغيرة من التربة ويزرع المحصول فيها. إلغاء أي من عملية الحراثة
لية أو الثانوية ينتج عنه نظام أقل حراثة.

٢,٥ ميكانيكا أسلحة الحراثة

٢,٥ تصنيف التربة

يتمثل تصنيف التربة في تقسيمها إلى مجموعات، لكل منها خصائص مميزة.
دي تصنيف التربة إلى إمكانية وصف تربة معينة بخصائصها. توجد عدة نظم
نيف مختلفة للتربة. تأسس بعضها بواسطة وزارة الزراعة الأمريكية، (M.I.T.)،
صلحة التربة. تبنى تلك التصنيفات على أساس حجم حبيبات التربة. وعلى
اس حجم الحبيبات تسمى التربة حصوية، ورملية، وطميية، وطينية. يوضح
كل رقم (٥,٢٢) الأنظمة المختلفة للتصنيف الحجمي للتربة.

U.S Dept. of Agriculture

طين	طمي	رمل	حصى

M.I.T.

طين	طمي	رمل	حصى

U.S. Bur. of Soils

طين	طمي	رمل	حصى

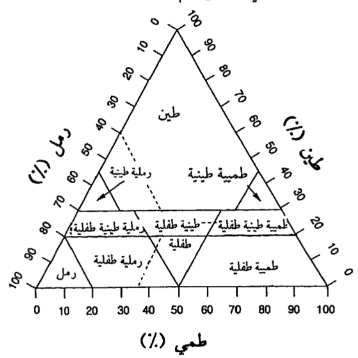
0.0001 0.001 0.01 0.1 1 10 100

مقاس الحبيبات (مم)

شكل ٥,٢٢. التصنيف الحجمي للتربة.

بصفة عامة، تتكون الأراضي الطبيعية من مخاليط ذات مجموعات مختلفة
حجام. وتسمى التربة بعد تحديد مكوناتها الرئيسية. على سبيل المثال، تربة تحتوي

غالبيتها على طين ولكن تحتوي أيضًا على بعض الطمي سوف تسمى طينية طمييـة. وأحد الأنظمة المناسبة لتسمية الأراضي المختلطة هو نظام إدراة الطرق العمومية كما هو مبين في الشكل رقم (٢٣ , ٥). جوانب المثلث هي المحاور، ويمثل كل منها النسبة المئوية للطين، والطمي والرمل التي تتشكل منها التربة. تعطى أسماء معينة للتوليفات المتعددة عندما تحدد بواسطة المساحات داخل المثلث. وبالتالي، إذا تكوَّنت تربة من ٤٠٪ رملاً، ٣٥٪ طميًا و٢٥٪ طينًا، فإنها تسمى طينية طمييـة. وتلك موضحة بالنقطة (A) في الشكل رقم (٢٣ , ٥).



شكل ٢٣ , ٥. نظام "إدارة الطرق العمومية" لتصنيف التربة.

٢ , ٢ , ٥ الخواص الطبيعية للأراضي

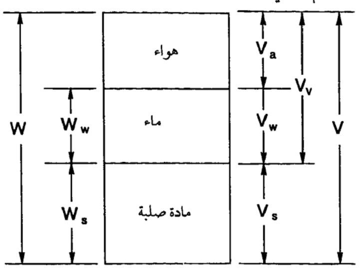
المسامية (n) هي مقياس القدر النسبي للفراغات في التربة. وهي نسبة حجم الفراغات (V_v) إلى الحجم الكلي (V) لعينة التربة، الشكل رقم (٢٤ , ٥)، أو:

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (٥ , ١)$$

ث:

V_v = حجم الفراغات

V = الحجم الكلي.



شكل ٥,٢٤. المكونات الحجمية والوزنية للتربة.

نسبة الفراغات (e) هي نسبة حجم الفراغات إلى حجم المادة الصلبة في عينة بة، أو:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \qquad (٥,٢)$$

يث:

V_s = حجم المادة الصلبة.

المحتوى المائي للتربة (w) هو نسبة وزن الماء (W_w) إلى وزن المادة الصلبة (W_s) برًا عنها كنسبة مئوية، أو:

$$w = \frac{W_w}{W_s} * 100 \qquad (٥,٣)$$

يث:

W_w = وزن الماء

W_s = وزن المادة الصلبة .

درجة التشبع (S_r) هي النسبة المئوية لحجم الفراغات المملوءة بالماء، أو :

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} * 100 \qquad (٥ , ٤)$$

حيث :

V_w = حجم الماء .

يحدد الوزن النوعي أو الكثافة (γ) على أنها الوزن مقسومًا على الحجم . للأراضي :

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_w + V_a} \qquad (٥ , ٥)$$

الكثافة الجافة (γ_d) هي وزن المادة الصلبة مقسومًا على الحجم الكلي، أو :

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \qquad (٥ , ٦)$$

أخيراً، كثافة حبيبات المادة الصلبة في التربة (الكثافة الحقيقية) (γ_s) يعبر عنها كالتالي :

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \qquad (٥ , ٧)$$

وقد وجد أن كثافة المادة الصلبة في الأراضي ثابتة بعض الشيء . وهي تتراوح بصفة عامة من ٢,٦ إلى ٢,٨ جم/ سم^٣ . وتكون القيمة المتوسطة ٢,٦٥ جم/ سم^٣ للرمل والطمي و ٢,٧٥ جم/ سم^٣ للطين .

مثال رقم (٥,١)

عينة تربة حجمها ١٠٠ سم^٣ ، وزنها ١٦٥ جم، وجد أن محتواها الرطوبي

٤٪ . إذا افتـرض أن الوزن النوعي للمـادة الصلبـة يسـاوي ٦ , ٢ ، اوجـد نسـبة
راغات ، والمسامية ، ودرجة التشبع والكثافة الجافة .

الحل . أولاً : اوجد الأوزان والأحجام لكل جزء من عينة التربة .

$$W = \frac{W_w}{W_s} = 0.49;\ \text{or}$$

$$W_w = 0.49\ W_s$$

$$W_s + W_w = 165\ \text{g};\ \text{or}$$

$$W_s + 0.49\ W_s = 165\ \text{g}$$

$$W_s = \frac{165}{1.49} = 110.74\ \text{g};\ \text{and}$$

$$W_w = 165 - 110.74 = 54.26\ \text{g}$$

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s} = \frac{110.7}{2.6} = 42.59\ \text{cm}^3$$

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{54.26}{1.0} = 54.26\ \text{cm}^3;\ \text{and}$$

$$V_a = V - V_s - V_w = 100 - 42.59 - 54.26 = 3.15\ \text{cm}^3$$

الآن ، اوجد النسب المطلوبة من قيم الوزن والحجم كما تم حسابها أعلاه .
تكون نسبة الفراغات (e) :

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_w - V_a}{V_s} = \frac{54.26 + 3.15}{42.59} = 1.35$$

وتكون المسامية (η) :

$$\eta = \frac{V_v}{V} = \frac{54.26 + 3.15}{100} = 0.57$$

وتكون درجة التشبع (S_r) :

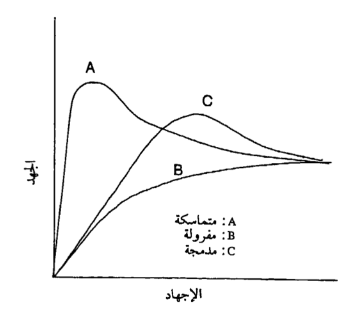
$$S_r = \frac{V_w}{V_v} * 100 = \frac{(54.26)\ 100}{57.41} = 0.95\%$$

وتكون الكثافة الجافة (γ_d) :

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{110.74}{100} = 1.107\ g/cm^3$$

٥,٢,٣ الخواص الآلية للأراضي

مقاومة القص. إذا تعرضت عينة تربة لجهد قص، قد يبدو منحنى جهد القص مقابل الانفعال مثل أحد المنحنيات في الشكل رقم (٥,٢٥) حسب حالة التربة. سوف تعطي التربة المتماسكة جداً نقطة انهيار محددة بوضوح كما هو موضح بالمنحنى (A). قد لا تظهر التربة المفككة أي نقطة انهيار محددة وقد يزداد الجهد بدالة أسية مع الانفعال حتى يبلغ قيمة قصوى معينة كما هو موضح بالمنحنى (B). يمثل المنحنى (C) تربة مدمجة دمجًا جيداً ولكنها غير متماسكة. تشير مقاومة التربة إلى قيمة جهد القص على مستوى داخل عينة التربة حيث يحدث انهيار التربة سواء كان تمزقًا أو انهياراً. هذه النقطة محددة بوضوح في المنحنيات (A) و(C)، لكن انهيار التربة غير واضح للمنحنى (B). يعتبر حدوث الانهيار في حالة المنحنى (C) انهياراً باللدونة أو التشكل غير المرن، وتؤخذ القيمة المقاربة لجهد القص على أنها مقاومة القص في هذه الحالة. منحنيات جهد القص مقابل انفعال القص في الشكل رقم (٥,٢٥) تمثل جهداً عموديًا معينًا على العينة. إذا تغير الجهد العمودي سوف يتغير منحنى جهد القص مقابل انفعال القص، وبالتالي سوف تتغير القيمة العظمى لجهد القص أيضًا. سوف تسبب زيادة الجهد العمودي زيادة في القيمة العظمى للقص. لذلك، فإن مقاومة القص دالة في الجهد العمودي على مستوى الانهيار.



ل ٥,٢٥. المنحنيات النموذجية للجهد مقابل الانفعال لثلاث حالات للتربة: (أ) متماسكة، (ب) مفرولة (مفككة)، (جـ) مدمجة.

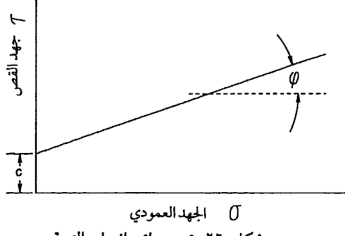
تحدد نظرية موهر – كولومب (Mohr - Coulomb) للانهيار أن الانهيار يحدث المادة إذا تساوى جهد القص على أي مستوى مع مقاومة القص للمادة. علاوة ـ ذلك، فإن مقاومة القص (s) على طول أي مستوى تمثل دالة في الجهد العمودي على هذا المستوى، كما هو مبين بالمعادلة التالية:

$$s = f(\sigma) \quad (٥,٨)$$

أجرى (Coulomb, 1776) تجارب لإيجاد أقصى جهد قص والذي يمكن أن يؤثر ـ مستوى داخل عينة تربة عند قيم متغيرة من الجهد العمودي. وقع(Coulomb) قيم ـسى جهد قص عند الانهيار مقابل الجهد العمودي المتوافق على مستوى الانهيار ـترح العلاقة الخطية التالية:

$$s = c + \sigma \tan \phi \quad (٥,٩)$$

معيار (Coulomb) مبين كخط مستقيم في الشكل رقم (٥, ٢٦)، مع جزء محصور على محور جهد القص (τ) يساوي (c) وميل (a) يساوي (tan ϕ). الكميات (c) و(ϕ) هي خواص المادة وتسمى غالبًا الالتصاق وزاوية الاحتكاك الداخلي، على الترتيب. تمثل مقاومة القص كما حددت بالمعادلة رقم (٥, ٩) أقصى جهد قص والذي قد يؤثر على أي مستوى في مادة معينة. تسمى دالة المقاومة دائرة الانهيار حيث إنها تحدد الجهد النهائي.

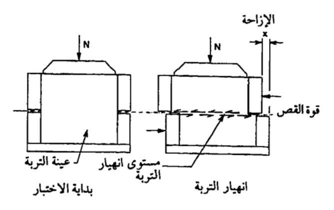


شكل ٥,٢٦. دوائر انهيار التربة.

إيجاد مقاومة القص. اختبار القص المباشر والاختبار ثلاثي المحاور هما الطريقتان الأكثر شيوعًا في الاستخدام لإيجاد مقاومة التربة للقص. الغرض من هذه الاختبارات هو إيجاد قيم (c) المطلوبة في المعادلة رقم (٥, ٩) لتحديد دائرة الانهيار بالقص للتربة.

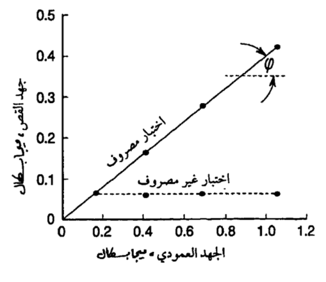
اختبار القص المباشر. يتم اختبار القص المباشر باستخدام جهاز كما هو موضح في الشكل رقم (٥, ٢٧). يتكون الصندوق من نصف علوي وآخر سفلي يحتوي على عينة التربة المراد اختبارها. يسمح بصرف الماء من العينة باستخدام قرص حجري ذي نفاذية عالية عند القاع. تنهار عينة التربة عند السطح البيني لنصفي الصندوق. يوضع الجهد العمودي من خلال رأس تحميل، وتتم زيادة جهد القص حتى تنهار العينة. عندئذ يمكن الحصول على منحنى الجهد مقابل الانفعال بتوقيع

جهد القص مقابل إزاحة القص .

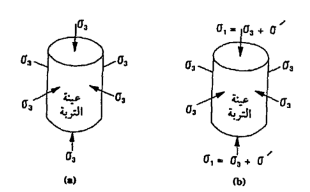


شكل ٥,٢٧ . جهاز اختبار القص المباشر.

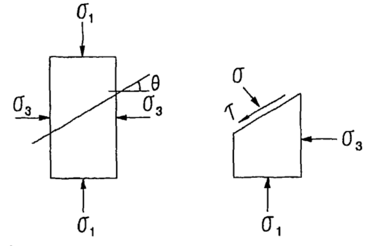
تم إجراء العديد من الاختبارات باستخدام جهود عمودية مختلفة على عينات لنفس التربة للحصول على دائرة الانهيار. تم تحميل العينات بجهد القص بمعدل بطيء لإعطاء الوقت الكافي للتغيرات الحجمية. إذا تم توقيع مقاومة القص مقابل الجهد العمودي، نحصل على الخط المستمر في الشكل رقم (٥,٢٨). العلاقة الخطية بين (s) و(σ) هي دائرة الانهيار.



شكل ٥,٢٨ . نتائج نموذجية لاختبار القص المباشر.

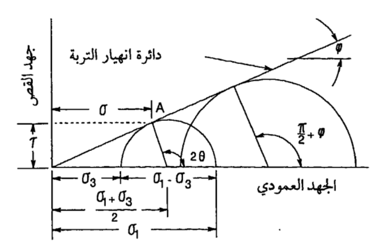


شكل ٥,٢٩. (أ) استخدام الجهود الهيدروستاتية أثناء عملية الدمج، (ب) استخدام الجهد المنحرف لحدوث انهيار القص.



شكل ٥,٣٠. تمثيل ثنائي الاتجاه للجهود المؤثرة على عينة تربة أثناء اختبار القص ثلاثي الاتجاه مبينًا جهد القص والجهد العمودي على مستويات الانهيار.

الاختبار ثلاثي المحاور. اعتبر عينة تربة أسطوانية معرضة لجهد هيدروستاتي (σ_3) كما هو موضح في الشكل رقم (٥,٢٩أ) ثم جهد عمودي إضافي يسمى الجهد المنحرف (σ') كما هو موضح في الشكل رقم (٥,٢٩ب). يزاد الجهد المنحرف حتى تنهار التربة. يبين الشكل رقم (٥,٣٠أ) تمثيل ثنائي الاتجاه للجهود على عينة تربة. اتجاه مستوى الانهيار مبين بزاوية (θ) على الأفقي. ويبين



شكل ٥,٣١. تمثيل دوائر موهر للإجهادات الرئيسة.

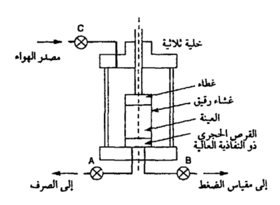
الشكل رقم (٥,٣٠ب) جهد القص والجهد العمودي على مستوى الانهيار. بعد نهيار العينة، فإن جهد القص على هذا المستوى يساوي مقاومة القص. يجب أن وجد الآن قيم جهد القص (τ) والجهد العمودي (σ) على هذا المستوى. ويمكن إيجاد نذه الجهود بدلائل دائرة موهر كما هو مبين في الشكل رقم (٥,٣١). تمثل النقطة a) على الدائرة مستوى الانهيار. ويجب ملاحظة أن الزاوية أو اتجاه سطح الانهيار لد ضوعفت في رسم موهر البياني. إحداثيات هذه النقطة هي الإجهادات القصية العمودية على مستوى الانهيار. باستخدام الرسم البياني، يمكن كتابة العلاقات لتالية لهذه الإجهادات:

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\cos 2\theta \quad (٥,١٠)$$

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\sin 2\theta \quad (٥,١١)$$

يمثل الشكل رقم (٥,٣٢) رسمًا تخطيطيًا يصف الجهاز ثلاثي المحاور استخدام الإجهادات. تغلف عينة التربة الأسطوانية بغشاء مطاطي رقيق وتوضع

في خلية المحاور الثلاثة. ثم تملأ الخلية بالسائل. وتعرض العينة لجهد ضغط هيدروستاتي (σ_3) بزيادة الضغط داخل الخلية. فيؤدي ذلك إلى دمج العينة. ويوضع إجهاد رأسي (σ') إضافي من خلال المكبس كما هو مبين في الشكل. يتم زيادة هذا الجهد المنحرف بانتظام حتى يحدث انهيار العينة. تنهار العينة تحت تأثير مجموعة من الجهود الأساسية ($\sigma_3 + \sigma', \sigma_3$).



شكل ٥,٣٢. جهاز اختبار القص ثلاثي المحاور.

يقاس صرف الماءمن العينة بالسحاحة وفي حالة منع الصرف من العينة يغلق الصمام (A) . ويوجد خط آخر يخرج من القاعدة يقود إلى جهاز إحساس لقياس ضغط الماء في الفراغات البينية.

يتم إجراء العديد من الاختبارات ثلاثية الاتجاه على عينات من نفس التربة عند قيم مختلفة من ضغط الخلية (σ_3) وذلك للحصول على دائرة الانهيار. وترسم دائرة موهر للجهود الأساسية لكل عينة. وهذا مبين في الشكل رقم (٥,٣١) ويشكل الخط المماس لهذه الدوائر خط الانهيار. يمثل الجهد على سطح الانهيار بنقطة التماس. من الشكل الهندسي لدائرة موهر، يصنع هذا الشكل زاوية مقدارها ($(\pi/2 + \phi)/2$) من مستوى الجهد الأساسي.

قد يتم الاختبار ثلاثي المحاور كمصروف (d)، ومدمج- غير مصروف (c-u) أو غير مصروف (u). في الاختبار المصروف، يسمح للماء بالتسرب من العينة أثناء استخدام الجهد الهيدروستاتي والجهد المنحرف، ضغط الماء في الفراغات البينية

ساوي صفراً. أثناء الاختبار الثلاثي المحاور المدمج - غير مصروف (c-u) يسمح الصرف أثناء تطبيق الجهد الهيدروستاتي ويكون ضغط الماء في فراغات العينة لمتوافقة (u_a) مساويًا للصفر. عندما يؤثر الجهد المنحرف، لايكون مسموحًا بالصرف يكون ضغط الماء في الفراغات البينية ($u_b > 0$). وفي الاختبار غير المصروف لايسمح الصرف ويكون الضغط الكلي للمياه في الفراغات البينية مساويًا لـ (u). قد يحسب لجهد الفعال (σ) لحالات الصرف الثلاث باستخدام المعادلات التالية:

المصروف:

$$\bar{\sigma}_1 = \sigma_1 \qquad \bar{\sigma}_3 = \sigma_3 \qquad (٥,١٢)$$

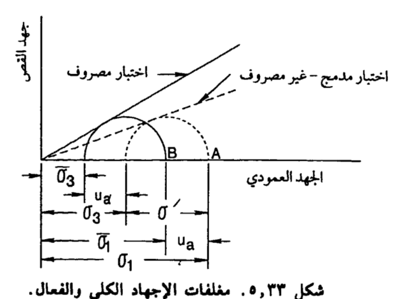
المدمج - غير مصروف:

$$\bar{\sigma}_1 = \sigma_1 - u_b \qquad \bar{\sigma}_3 = \sigma_3 - u_b \qquad (٥,١٣)$$

غير المصروف:

$$\bar{\sigma}_1 = \sigma_1 - u \qquad \bar{\sigma}_3 = \sigma_3 - u \qquad (٥,١٤)$$

يوضح الشكل رقم (٥,٣٣) دائرة موهر النموذجية والتي يمكن الحصول عليها من الاختبارات ثلاثية المحاور سواء كانت غير مصروفة، أومصروفة أومدمجة غير مصروفة؛ تبنى الدوائر من الجهد الأساسي عند الانهيار. يمكن إيجاد مغلف لانهيار المتوافق مع الاختبار المصروف، والذي يسمى باسم مغلف الانهيار لفعال، من المعادلتين رقمي (٥,١٣) و(٥,١٤) اعتماداً على حالات الصرف لاختبار. بصرف النظر عن نوع الاختبار المؤدى، فإنه يوجد مغلف انهيار فعال وفريد لتربة المختبرة.



شكل ٥,٣٣. مغلفات الإجهاد الكلي والفعال.

يكتب مغلف الإجهاد الفعال للانهيار كالتالي:

$$s = \bar{c} + \bar{\sigma} \tan \phi \qquad (٥,١٥)$$

مثال رقم (٥,٢)

تم تطبيق اختبار ثلاثي المحاور مدمج - غير مصروف على عينة تربة طينية مشبعة، قيمة الضغط الهيدروستاتي (σ_3) كانت ٢٠٠ كيلوبسكال. انهارت العينة عندما كانت قيمة كل من (σ') و (u) ٢٨٠ ، ١٨٠ كيلوبسكال على الترتيب. فإذا صنع مستوى الانهيار في هذا الاختبار زاوية مقدارها ٥٧° مع المحور الأفقي، احسب الجهد العمودي وجهد القص على سطح الانهيار.

الحل. تحسب الجهود الأساسية عند الانهيار كالتالي:

(σ_3) = ٢٠٠ كيلوبسكال، ($\sigma_1 - \sigma_3$) = ٢٨٠ كيلوبسكال، (σ_1) = ٢٨٠+ ٢٠٠ = ٤٨٠ كيلوبسكال.

على المستوى المائل بزاوية مقدارها ٥٧° ، يحسب الجهد العمودي وجهد القص كالتالي:

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta$$

$$\sigma = \frac{480 + 200}{2} + \frac{480 - 200}{2} \cos 114 = 283 \text{ kPa}$$

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\theta = \frac{480 - 200}{2} \sin 114 = 127 \text{ kPa}$$

ويكون الجهد العمودي الفعال على مستوى الانهيار :

$$\bar{\sigma} = \sigma - u = 283 - 180 = 103 \text{ kPa}$$

مثال رقم (٣,٥)

إذا كانت قيمة التماسك للعينة في المثال السابق ٨٠ كيلوبسكال وزاوية الاحتكاك الداخلي ٢٤ °. بين لماذا حدث الانهيار على المستوى المائل بزاوية (θ) تساوي ٥٧° بدلاً من مستوى أقصى إجهاد قص. كم كانت أقصى قيمة لجهد القص داخل العينة؟

الحل. قيمة الجهد العمودي الفعال على سطح التربة تساوي ١٠٣ كيلوبسكال. تحسب مقاومة القص المتوافقة على هذا المستوى كالتالي:

$$s = c + \bar{\sigma} \tan \phi = 80 + 103 \tan 24 = 127 \text{ kPa}$$

مقاومة القص تساوى جهد القص على هذا المستوى، ولهذا يحدث الانهيار. يحدث أقصى جهد قص عند مستوى ٤٥°، ويحسب الجهد العمودي الفعال على هذا المستوى كالتالي:

$$\sigma = \frac{480 + 200}{2} + \frac{480 - 200}{2} \cos 2(45) = 340 \text{ kPa}$$

$$\bar{\sigma} = 340 - 180 \text{ kPa} = 160 \text{ kPa}$$

$$s = 80 + 160 \tan 24 = 151 \text{ kPa}$$

يحدث جهد القص الأقصى على مستوى موجه بزاوية ٤٥° من الأفقي:

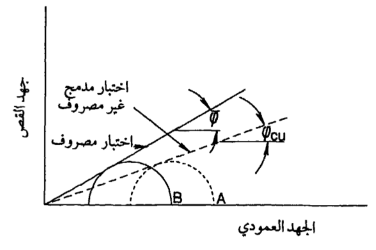
$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = 140 \text{ kPa}$$

لايحدث الانهيار عند المستوى المائل بزاوية ٤٥° لأن المقاومة تكون أكبر من الإجهاد.

مقاومة القص للأراضي غير المتماسكة. الرمل والطمي أراض غير متماسكة. يبين الشكل رقم (٥,٣٤) مغلف انهيار نمطيًا للتربة غير المتماسكة وتمر الدائرة خلال نقطة الأصل. لذلك، فإن دائرة واحدة لموهر تكفي لبناء مغلف الانهيار. تستخدم المعادلات التالية لإيجاد مغلف الانهيار المصروف (الفعال) للأراضي غير المتماسكة.

$$s_{cu} = \sigma \tan \phi_{cu} \quad (٥,١٦)$$

$$s = \bar{\sigma} \tan \bar{\phi} = (\sigma - u) \tan \bar{\phi} \quad (٥,١٧)$$



شكل ٥,٣٤. مغلفات الانهيار للدوائر غير المتماسكة.

تتراوح قيمة ($\bar{\phi}$) للأراضي غير المتماسكة من ٢٨ إلى ٤٢° تقريبًا. وبصفة عامة، تزداد قيمة (ϕ) بزيادة الكثافة. قد تكون قيمة (ϕ) للرمال المفككة جدًا والتي لها بناء غير متزن منخفضة إلى درجة أنها قد تصل إلى ١٠°.

القياسات الحقلية لمقاومة التربة للقص. اختبار القص المباشر واختبار القص ثلاثي المحاور الموصوفان سابقًا يمثلان إجراءات معملية لقياس مقاومة التربة للقص. فيجب أن تؤخذ عينات التربة من الحقل لإجراء هذه الاختبارات. وقد تتبعثر العينات وقد تتغير مقاومتها للقص أيضًا أثناء العملية. لتلافي ذلك، تم ابتكار بعض الطرق لإجراء قياسات القص في الحقل. الطريقة الأولى هي صندوق قص مستدير يدار بعد إدخاله في التربة كما هو مبين في الشكل رقم (٥،٣٥). يُدفع الصندوق داخل التربة حتى يلامس أعلاه سطحها. تحفر التربة خارج الصندوق بعناية قبل إضافة العزم اللازم لقصها. يحدث قص التربة عند قاع الصندوق. تحسب مقاومة القص باستخدام المعادلة التالية:

$$s = \frac{3M}{2\pi r^3} \qquad (٥,١٨)$$

حيث:

s = مقاومة التربة للقص

M = عزم الدوران عند الانهيار

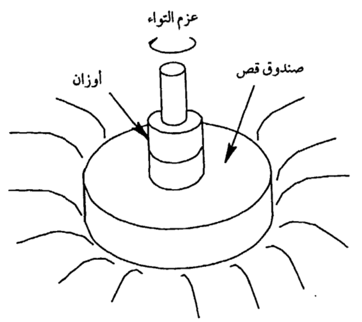
r = نصف قطر صندوق القص.

توضع علامات على التربة داخل الصندوق وهي مرئية من خلال فتحات صغيرة أعلاه. تستخدم العلامات للتأكد من أن التربة تنفصل بانتظام.

للتغلب على مشكلة أن التربة الواقعة بالقرب من الحافة الخارجية لصندوق القص يجب أن تتحرك لمسافة أبعد إلى حد كبير من تلك التي قرب المركز، تم تصميم حلقة ضيقة كصندوق قص. وتحسب مقاومة القص للحلقة الضيقة من المعادلة التالية:

$$s = \frac{3M}{2\pi\left(r_1^3 - r_2^3\right)} \qquad (٥,١٩)$$

حيث (r_1) و (r_2) هما نصفا القطر الداخلي والخارجي للحلقة على الترتيب.

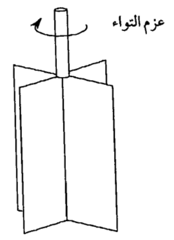


شكل ٥,٣٥. جهاز قص التربة الحقلي.

يتطلَّب الجهاز الحقلي الموصوف أعلاه حفر التربة عند المحيط الخارجي بعد إدخاله في الأرض. جهاز القص الريشي المبين في الشكل رقم (٥,٣٦) لايتطلَّب حفراً. بمجرد دفعه في التربة فإن الدوران يسبب قص التربة على طول سطح الأسطوانة والتي تتكون بفعل الريش، وقد تستخدم هذه الوسيلة عند أعماق أكبر. يمكن أن تتم القياسات عند أعماق متزايدة دون الحاجة إلى إخراج وسيلة القص من التربة وبذلك يمكن إيجاد صورة كاملة لمقاومة التربة في حالاتها الطبيعية. وتكون نسبة ارتفاع الريش إلى نصف قطرها ١ : ٤. جهاز القص الريشي لايحتاج لتغيير الحمل العمودي. وتحسب مقاومة القص من المعادلة التالية:

$$s = \frac{3M}{28 \pi r^3} \qquad (٥,٢٠)$$

حيث (r) نصف قطر الدائرة المرسومة بواسطة رؤوس الريش.



شكل ٥,٣٦. جهاز القص الريشي.

الاحتكاك. هناك ثلاثة أنواع من عوامل الاحتكاك في المشاكل المتعلقة ديناميكا التربة. تتمثل في الاحتكاك بين التربة – المعدن (μ')، الاحتكاك بين التربة – تربة (μ) والاحتكاك الداخلي بين حبيبات التربة ($\tan \phi$). تم مناقشة الاحتكاك داخلي للتربة أعلاه فيما يتعلق بمقاومة التربة للقص. لإيجاد الاحتكاك بين التربة – تربة والاحتكاك بين التربة – المعدن، نستخدم مفهوم (Coulomb) لمعامل الاحتكاك، :

$$\mu \text{ or } \mu' = \frac{F}{N} = \tan \psi \qquad (٥,٢١)$$

حيث:

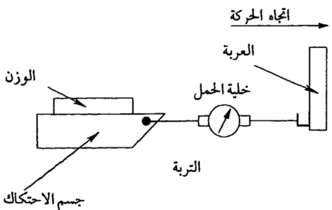
F = القوة الاحتكاكية المماسة للسطح الانزلاقي

N = القوة العمودية على السطح الانزلاقي

ψ = زاوية الاحتكاك.

يبين الشكل رقم (٥,٣٧) جهازاً لقياس الاحتكاك بين التربة – المعدن. قيست ة الاحتكاك المناظرة لأحمال عمودية مختلفة ووقعت مقابل الأحمال العمودية. ل ميل الخط معامل الاحتكاك. ويجب إيضاح أن هناك فرقًا بين الاحتكاك بين ربة – التربة وزاوية الاحتكاك الداخلي. ففي ظاهرة الاحتكاك بين التربة – التربة،

فإن التربة تتحرك كجسم صلب ضد سطح تربة آخر . في حين أن الاحتكاك الداخلي للتربة يدخل ضمن نطاق الحركة عند انهيار التربة تحت حمل قص . وعلى ذلك ، إذا استمر التحميل بحمل القص في اختبار القص بعد الانهيار ، فسوف نقيس بعدئذ سلوكًا احتكاكيًا بين التربة - التربة .



شكل ٥,٣٧ . قياس الاحتكاك بين التربة - المعدن.

الالتصاق . يعرف الالتصاق على أنه قوة التجاذب بين جسمين غير متشابهين . في حالة التربة ، يكون الالتصاق بسبب الغشاء الرطوبي الرقيق بين جسيمات التربة وسطح التلامس فيها . تكون قوة الالتصاق بسبب الشد السطحي للماء وبالتالي فهي تعتمد على قيمة الشد السطحي والمحتوى الرطوبي للتربة . في التطبيقات الآلية ، إنه لمن المستحيل التفريق بين الاحتكاك والالتصاق . يستخدم غالبًا معامل احتكاك ظاهري ليشمل كلاً من الاحتكاك والالتصاق . يبين الشكل رقم (٥,٣٨) تأثير المحتوى الرطوبي على معامل الاحتكاك الظاهري . ويمكن مشاهدة أنه في البداية وعند محتوى رطوبي منخفض أن الاحتكاك يكون بسبب فعل الانزلاق الخالص . عندما يزاد المحتوى الرطوبي ، تزداد قيمة الاحتكاك بسبب الالتصاق المتزايد . وعندما يزاد المحتوى الرطوبي إلى حد أبعد ، يتناقص الاحتكاك بسبب فعل التزييت الناشىء بالغشاء الرطوبي الرقيق . تم اقتراح النموذج التالي ليتضمن الالتصاق :

$$F = a \cdot C_{\alpha} + N \tan \psi \quad (٥,٢٢)$$

حيث :

$C\alpha$ = الالتصاق

a = مساحة السطح .

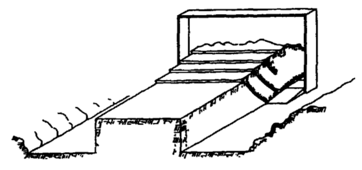


شكل ٥,٣٨ . تأثير المحتوى الرطوبي للتربة على معامل الاحتكاك الظاهري .
(عن : Gill and Vandenberg, 1968.)

٥,٢,٤ آلية سلاح الحراثة البسيط

يقدم هذا الجزء مناقشة التفاعل بين السلاح والتربة عندما يتحرك السلاح خلالها . اعتبر سلاح الحراثة بشكل نصل مائل يتحرك خلال التربة كما هو موضح في الشكل رقم (٥,٣٩) . عندما يتحرك السلاح إلى الأمام ، تتعرض التربة في مقدمة السلاح لأحمال مشابهة لتلك الأحمال في اختبار الضغط غير المقيد . عندما يستمر السلاح في الحركة إلى الأمام يزداد التحميل حتى تنهار التربة بالقص . تتكون مستويات قص متعاقبة وتتحرك التربة بين مستويات القص على طول سطح سلاح الحراثة . قام (W. Soehne, 1956) بتحليل القوة المؤثرة على سلاح الحراثة والتربة لإنشاء علاقة جبرية لقوة الشد الكلية المطلوبة لموازنة ردود فعل التربة المتنوعة . قدم (Gill and Vandenberg, 1968) عمل (Soehne) .

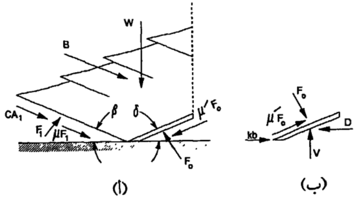
استخلص (Soehne, 1956) أن كلاً من الاحتكاك بين المعدن - التربة ، وانهيار القص ، وقوة التسارع لكل كتلة من التربة ، ومقاومة القطع لها تأثير على سلاح الحراثة حينما يتحرك خلال التربة . يبين الشكل رقم (٥,٤٠أ) رسمًا تخطيطيًا لجسم حر من قطعه من التربة عندما يؤثر على السلاح المدفوع . القوى (CA_1) و(μF_1) هي



شكل ٥,٣٩ . سلاح حراثة ذو سطح مائل.

(Soehne, 1956, cited in Gill and Vandenberg, 1968. : عن)

قوى ناتجة عن قص التربة وتحدث عند الانهيار اللحظي الأولي للتربة. القوى الناتجة عن الاحتكاك بين المعدن - التربة ($\mu' F_0$) والتسارع (B) تم تقديمها أيضًا. تعرف مقاومة التربة للقطع على أنها قوة القطع لكل وحدة طول من حافة القطع، ويرمز لها بالرمز (k). القوى المؤثرة على سلاح الحراثة مبينة في الشكل رقم (٤٠ ب،٥). وهذه القوى هي مقاومة التربة للقطع (kb) المتحصل عليها بضرب وحدة مقاومة القطع (k) في عرض القطع (b)، رد فعل التربة العمودي (F_0)، رد الفعل الاحتكاكي ($\mu' F_0$)، قوى تدعيم السلاح (V) وقوة الشد (D).



شكل ٥,٤٠ . قوى رد فعل السلاح والتربة.

(Soehne, 1956, cited in Gill and Vandenberg, 1968. : عن)

بجمع القوى في الاتجاه الأفقي ومساواتها بالصفر، نحصل على المعادلة التالية:

$$D = F_o \sin \delta + \mu' F_o \cos \delta + kb \qquad (٥,٢٣)$$

يث :

D = قوة الشد الأفقية

μ' = معامل الاحتكاك بين التربة – المعدن

F_o = الحمل العمودي على المستوى المائل

k = مقاومة التربة للقطع

δ = زاوية رفع السلاح .

يعرف الشد النوعي للتربة (D^*) كالتالي :

$$D^* = D - kb$$

أو

$$D^* = F_o \sin \delta + F_o \mu' \cos \delta \qquad (٥,٢٤)$$

جمع كل المركبات الرأسية للقوى المؤثرة على كتلة التربة ومساواتها بالصفر
تزان يؤدي إلى المعادلة التالية :

$$W - F_o (\cos \delta - \mu' \sin \delta) - F_1 (\cos \beta - \mu \sin \beta) + (CA_1 + B) \sin \beta = \qquad (٥,٢٥)$$

يث :

W = وزن التربة ، نيوتن

F_1 = القوة العمودية على السطح الأمامي للانهيار ، نيوتن

β = زاوية السطح الأمامي للانهيار ، ز

μ = معامل الاحتكاك الداخلي للتربة

A_1 = مساحة السطح الأمامي لانهيار القص ، م٢

C = تماسك التربة، بسكال

B = قوة تسارع التربة، نيوتن.

يمكن جمع القوى الأفقية المؤثرة على جزء التربة ووضعها في اتزان من العلاقات الموضحة في الشكل رقم (٥ , ٤٠) لتعطي:

$$F_o (\sin \delta + \mu' \cos \delta) - F_1 (\sin \beta + \mu \cos \beta) - (CA_1 + B) \cos \beta = 0 \qquad (٥ , ٢٦)$$

يمكن استخدام المعادلة رقم (٥ , ٢٤) لإيجاد (F_o) والتعويض عن قيمتها في المعادلة رقم (٥ , ٢٦) لإيجاد (F_1) نحصل على:

$$F_1 = \frac{D^* - \left(\left(CA_1 + B\right) \cos \beta\right)}{\sin \beta + \mu \cos \beta} \qquad (٥ , ٢٧)$$

التعويض عن قيمة (F_o) في المعادلة رقم (٥ , ٢٥)، يعطي:

$$W - \left(D^* \frac{\cos \delta - \mu' \sin \delta}{\sin \delta + \mu' \cos \delta}\right) - \left[D^* - \left(CA_1 - B\right) \cos \beta\right] \left(\frac{\cos \beta - \mu \sin \beta}{\sin \beta + \mu \cos \beta}\right)$$

$$+ \left(CA_1 + B\right) \sin \beta = 0$$

فك وإعادة ترتيب الأجزاء يعطي:

$$D^* \left(\frac{\cos \delta - \mu' \sin \delta}{\sin \delta + \mu' \cos \delta} + \frac{\cos \beta - \mu \sin \beta}{\sin \beta + \mu \cos \beta}\right) = W + \frac{CA_1 - B}{\sin \beta + \mu \cos \beta}$$

وبالاختصار نحصل على:

$$z = \left(\frac{\cos \delta - \mu' \sin \delta}{\sin \delta + \mu' \cos \delta} + \frac{\cos \beta - \mu \sin \beta}{\sin \beta + \mu \cos \beta}\right)$$

$$D^* = \frac{W}{z} + \frac{CA_1 + B}{z(\sin\beta + \mu\cos\beta)} \quad (٥,٢٨)$$

تربط المعادلة رقم (٥,٢٨) بين القوى المؤثرة في نظام السلاح – التربة. قد حسب وزن التربة من حجم التربة المسنودة بالسلاح المائل. يبين الشكل رقم (٥,٤١) مساحة شبه منحرف والتي قد يفترض أنها مسنودة بالسلاح. ضرب ساحة شبه المنحرف في عرض السلاح وكثافة التربة تعطي الوزن.

باستخدام العلاقات في الشكل رقم (٥,٤١)، يكون وزن التربة:

$$W = \gamma\ b\ d^* \left(L_o + \frac{L_1 + L_2}{2}\right) \quad (٥,٢٩)$$

حيث:

γ = الكثافة الرطبة للتربة، كجم/ م٣

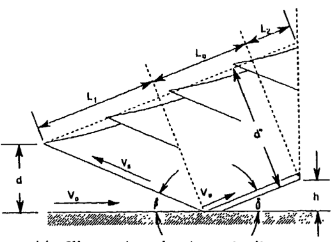
b = عرض السلاح، م

d = عمق السلاح، م

$d^* = (d([\sin(\delta+\beta)]/\sin\beta))$، م

$L_1 = (d([\cos(\delta+\beta)]/\sin\beta))$، م

$L_2 = (d * \tan\delta(\mu))$، م.



شكل ٥,٤١. جزء من التربة محمل على سلاح حراثة مائل.

(عن: Soehne, 1956, cited in Gill and Vandenberg, 1968.)

يمكن تعيين مساحة مستوى القص (A_1) بسهولة من أي من الشكلين رقمي (٥, ٤٠) و(٥, ٤١) وهي تعطى بـ:

$$A_1 = \frac{b\,d}{\sin \beta} \qquad (٥,٣٠)$$

قوة التسارع (B) هي العنصر الوحيد في المعادلة رقم (٥, ٢٧) والمتبقية بدون تحديد. وباستخدام قانون نيوتن الثاني للحركة:

$$B = m\,\frac{d\,v}{d\,t} \qquad (٥,٣١)$$

حيث:

m = كتلة التربة المتسارعة، م/ث[٢]

v = سرعة التربة (منتظمة خلال التربة)، م/ث

t = الزمن، ث.

كتلة التربة المتسارعة أو المبعثرة بفعل السلاح عند زمن (t) تعطى بـ:

$$m = \frac{\gamma}{g}\,d\,b\,t_o\,v_o \qquad (٥,٣٢)$$

حيث:

v_o = سرعة السلاح، م/ث

t_o = الزمن المتوسط لارتباط حبيبة التربة بالسلاح، ث

g = عجلة الجاذبية الأرضية، م/ث[٢].

بعد أن أنشأنا تعبيرًا رياضيًا لكتلة التربة المتسارعة (m) في المعادلة رقم (٥, ٣١) فإنه يجب الآن إنشاء تعبير رياضي للعجلة (dv/dt). بالإشارة إلى الشكل رقم (٥, ٤١)، تكون (v_g) هي السرعة المطلقة لكتلة التربة، و (v_e) هي سرعة كتلة التربة

بالنسبة لسرعة السلاح. يكون اتجاه (v_s) على طول مستوى انهيار التربة وموجهة بزاوية (β) على المستوى الأفقي كما هو موضح في الشكل رقم (٥,٤١). السرعة النسبية (v_e) هي السرعة الانزلاقية على طول سطح السلاح والموجهة بزاوية (δ) على المستوى الأفقي كما هو مبين في الشكل رقم (٥,٤١). توجه سرعة السلاح (v_o) أفقيًا كما هو مبين في الشكل نفسه. تشكل المتجهات الثلاث للسرعة مثلثًا مقفلاً كما هو موضح بالمعادلة الاتجاهية التالية :

$$\vec{v_s} = \vec{v_o} + \vec{v_e}$$

وقد افترض (Soehne) أن :

$$\frac{dv}{dt} \approx \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_s - 0}{t_o - 0} = \frac{v_s}{t_o} \qquad (٥,٣٣)$$

تكون (v_o) مساوية للصفر طالما أن التربة كانت ساكنة في البداية عند زمن (t) مساويًا للصفر. إضافة إلى ذلك، وطالما أن متجهات السرعة (v_o, v_s, v_e) تشكل مثلثًا مقفلاً، فإنه يمكننا تدوين العلاقات التالية :

$$v_o = v_s \cos \beta + v_e \cos \delta$$

و

$$v_s \sin \beta = v_e \sin \delta$$

وهكذا يمكن حذف (v_e) لتعطي :

$$v_s = v_o \frac{\sin \delta}{\sin (\delta + \beta)} \qquad (٥,٣٤)$$

بالتعويض من المعادلات أرقام (٥,٣٢) و(٥,٣٣) و(٥,٣٤) في المعادلة رقم (٥,٣١)، وباختصارها تعطي :

$$B = \frac{\gamma}{g}\, b\, d\, v_0^2 \, \frac{\sin \delta}{\sin(\delta + \beta)} \qquad (٥,٣٥)$$

يمكن التعويض بالمعادلات أرقام (٢٨ , ٥) و(٥,٣٠) و(٥,٣٥) في المعادلة رقم (٢٨ , ٥) للحصول على معادلة واحدة والتي تحوي العوامل الخاصة بالسلاح، التربة وحالة التشغيل مرتبطتان بالقوة الأفقية لتحريك السلاح. يمكن حساب احتكاك التربة من:

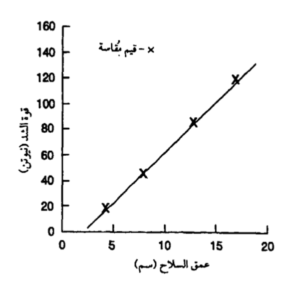
$$\mu = \tan \phi$$

حيث (ϕ) هي زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة. ويمكن تقدير الزاوية (β) من المعادلة التالية، انظر الشكل رقم (٥,٣١):

$$\beta = (90° - \phi) / 2$$

يمكن وضع القوى الرأسية على السلاح في اتزان للوصول إلى علاقة تشبه المعادلة رقم (٢٣ , ٥). مرة ثانية، يمكن استخدام المعادلتين رقمي (٢٥ , ٥) و(٢٦ , ٥) لاستنتاج معادلة تشبه المعادلة رقم (٢٨ , ٥). هكذا تشكل المعادلة رقم (٢٨ , ٥) ونظيرتها الأسية الضمنية آلية بسيطة للأسلحة المائلة. حاول (Soehne, 1956) تحقيق المعادلة رقم (٢٨ , ٥) عمليًا. وقد استخدم سلاحًا مائلاً مثبتًا من المركز. الشكل رقم (٤٢ , ٥) يقارن بين كل من القيم المقاسة والمتنبأ بها.

هناك اتفاق عام في البيانات المقاسة والمتوقعة يبين أن السلوك الآلي المتبع صحيح. وقد يساهم العديد من العوامل في حدوث خطأ في التوقع. فتأثيرات شفرة السلاح والتدعيم القياسي كانت موجودة بالنسبة للسلاح، بخلاف النموذج الرياضي. والإيجاد العملي للخصائص الديناميية للتربة قد يصاحبه بعض الخطأ. وقد يكون انهيار القص انهياراً متواليًا أكثر من كونه انهياراً لحظيًا لكل المساحة. وعليه فإن إجراء تحسين في أي من تلك العوامل المحددة قد يؤدي إلى تحسين كبير في دقة السلوك الآلي.



شكل ٥,٤٢ . قوى الشد المتوقعة والمقاسة لسلاح حراثة بسيط يعمل في تربة رملية . (عن : Soehne, 1956, cited in Gill and Vandenberg, 1968.)

مثال رقم (٥,٤)

سلاح حراثة مائل عرضه ٢٥ سم وطوله ١٠ سم، يعمل على عمق ٢٥ سم في تربة غير متماسكة كثافتها ١,٢ جم/ سم^3 ، زاوية الاحتكاك الداخلي لها ٣٧°. سرعة السلاح ٥ كم/ س ويؤخذ الاحتكاك بين التربة - المعدن على أنه ٠,٣ . بإهمال مقاومة القطع، اوجد القوة الأفقية المؤثرة على سلاح الحراثة.

الحل . العوامل الآتية معطاة في نص التمرين:

(δ) = ٤٥°، (d) = ٢٥ سم، (ϕ) = ٣٧°، (b) = ٢٥ سم، (L_o) = ١٠ سم، (μ') = ٠,٣ ، (ρ) = ١٢٠٠ كجم/ م^3 ، (v_o) = ١,٣٨٩ م/ ث.

يمكن حساب قوة التسارع باستخدام المعادلة رقم (٥,٣٤). لاحظ أن $(\rho = \gamma/g$ $= 1/2\,(90 - \phi) = 26.5°)$. بالتعويض عن هذه القيم في المعادلة نحصل على:

$$B \approx 1200\left(\frac{25}{100}\right)\left(\frac{25}{100}\right)(1.389)^2\ \frac{\sin 45}{\sin\,(45 + 26.5)}$$

تحسب مساحة مستوى القص (A_1) أمام السلاح من المعادلة رقم (٥,٣٠) كالتالي:

$$A_1 = \frac{(25)^2}{(100)^2 \sin (26.5)} = 0.446 \text{ m}^2$$

ثم يحسب وزن التربة من المعادلة رقم (٥,٢٩) كالتالي:

$$d^* = \frac{25}{100} \frac{\sin (45 + 26.5)}{\sin (26.5)} = 0.53 \text{ m}$$

$$L_1 = \frac{25}{100} \frac{\cos (45 + 26.5)}{\sin (26.5)} = 0.178 \text{ m}$$

$$L_2 = 0.53 \tan (45) = 0.53$$

$$W = 9.81 (1200) \frac{25}{100} * 0.53 \left(0.25 + \frac{0.178 + 0.53}{2}\right)$$

يحسب المعامل الهندسي (Z) كالتالي:

$$Z = \left(\frac{\cos 45 - \mu' \sin 45}{\sin 45 + \mu' \cos 45} + \frac{\cos 26.5 - \mu \sin 26.5}{\sin 26.5 + \mu \cos 26.5}\right) = 1.062$$

أخيرًا، تحسب قوة الشد (D^*) من المعادلة رقم (٥,٢٨) كالتالي:

$$D^* = \frac{942}{1.062} + \frac{108}{1.062 (\sin 26.5 + 0.75 \cos 26.5)} = 978 \text{ N.}$$

حاول (Rowe and Barnes, 1961) التغلب على بعض المقيدات الأصلية في السلوك الآلي. فلقد استخدموا الترتيبة الفيزيائية الموضحة في الشكل رقم (٥,٣٩) لتلاشي تأثير القوة الإضافية على طول جوانب كتلة التربة والحامل الرئيسي للسلاح. وأضافوا إلى السلوك الآلي تأثير الالتصاق على سطح الانزلاق بين التربة –

المعدن. يتطلب معامل الالتصاق (Ca) تغيراً في القوى كما هو مبين في الشكل رقم (٥,٤٣). دمج معامل الالتصاق يغير من المعادلة رقم (٥,٢٨) لتصبح:

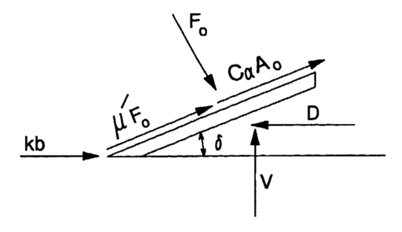
$$D^* = \frac{W}{z} + \frac{CA_1 + B}{z(\sin\beta + \mu\cos\beta)} + \frac{C_\alpha + A_o}{z(\sin\delta + \mu'\cos\delta)} \qquad (٥,٣٦)$$

حيث:

A_o = مساحة السلاح المائل

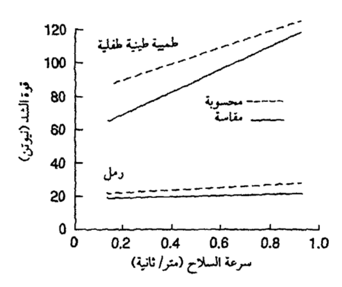
$C\alpha$ = الالتصاق بين السلاح التربة.

اهتم (Rowe and Barnes, 1961) في البداية بتأثير السرعة على قيم ثوابت التربة للقص. والتي قد تؤثر بدورها على قوة الشد وبناء على ذلك، قاما بقياس ثوابت التربة للقص عند سرعات مختلفة واقترحا أن التربة يحدث لها قص عند سرعة (v_s) والتي يمكن حسابها من المعادلة رقم (٥,٣٤). نتائج اختبارات القص التي تمت عند سرعات مختلفة معطاة في الجدول رقم (٥,١). نتائج قياساتهما وحساباتهما موضحة في الشكل رقم (٥,٤٤). والذي يبين أنهما توصلا إلى اتفاق معقول بين القيم المقاسة والمحسوبة.



شكل ٥,٤٣ رسم تخطيطي لسلاح حراثة يوضح قوة الالتصاق للتربة.

(عن: Rowe and Barnes, 1961, cited in Gill and Vandenberg, 1968.)



شكل ٥,٤٤. قوة الشد المقاسة والمحسوبة لسلاح حراثة مائل عند سرعات متعددة للسلاح.

(عن: Rowe and Barnes, 1961 , cited in Gill and Vandenberg, 1968.)

جدول رقم ٥,١. إجهاد قص التربة عند معدلات مختلفة.

معدل القص بوصة/ ث	رملية رطل/ بوصة٢	طمية طفلية رطل/ بوصة٢	طمية طينية رطل/ بوصة٢	طفلية طمية طينية رطل/ بوصة٢
٠,٧٦	١,١٥	١,٦٧	٠٠٠٠	٣,١٤
٨,٢٧	١,٢٧	١,٩٦	٢,٧٢	٣,٦٩
١٥,٧٦	١,٤٥	٢,٣١	٣,٢٨	٤,٣٩
٢٢,٩٥	١,٤٦	٢,٢٤	٣,٢٨	٠٠٠٠
٢٦,٩٧	٠٠٠٠	٠٠٠٠	٣,٣٣	٠٠٠٠

٥,٣ أداء معدات الحراثة

يحدد أداء أسلحة الحراثة بمتطلباتها من قوى الشد والقدرة ونوعية العمل. يعتمد تعريف نوعية العمل على نوع السلاح. تقدر نوعية العمل للمحاريث بدرجة

قلب التربة وتفتيتها بينما تقدر للأمشاط بمدى تكسير الكتل. ومع ذلك، لم تنشأ طريقة عامة مقبولة لتعيين قيمة كمية لنوعية العمل. ولذلك، يعطى في هذا الجزء قوى الشد المؤثرة على أسلحة الحراثة فقط ومتطلبات الطاقة اللازمة لها. ويناقش في هذا الجزء أيضًا تأثيرات العوامل الخاصة بالتربة والسلاح بالإضافة إلى ظروف التشغيل على قوة الشد ومتطلبات القدرة.

١,٣,٥ المحاريث القلابة المطرحية

تعرف قوة الشد على أنها مركبة قوة سحب الجرار المؤثرة على المحراث والتي تكون موازية لخط الحركة. قوة الشد النوعية هي قوة الشد مقسومة على مساحة مقطع الأخدود. نوع التربة وحالتها، هما إلى حد كبير، من أهم العوامل المساهمة في وجود الاختلافات في قوة الشد النوعية. تتراوح قيم الشد النوعي من٤ ,١ إلى ٢ نيوتن/ سم^{٢} (٢ إلى ٣ رطل/ بوصة^{٢}) للأراضي الرملية وتصل إلى مايتراوح من ١٠ إلى ١٤ نيوتن/ سم^{٢} (١٥ إلى ٢٠ رطل/ بوصة^{٢}) للأراضي الوحلة الثقيلة. قد تصل قيمة الشد النوعي للأراضي الرملية أو الطفلية الطميية إلى مايتراوح من ٢ إلى ٥ نيوتن/ سم^{٢} (٣ إلى ٧ رطل/ بوصة^{٢})، في حين أن القيمة التي تتراوح من ٤ إلى ٨ نيوتن/ سم^{٢} تعتبر قيمة نموذجية للأراضي الطفلية الطينية والطينية الثقيلة.

يمثل المحتوى الرطوبي عاملاً هامًا بالنسبة لكل من قوة الشد ونوعية العمل. تتطلّب التربة الجافة قدرة كبيرة وأيضًا فهي تزيد من تآكل الشفرات القاطعة. زيادة المحتوى الرطوبي من ١ ,٩ إلى ٧ ,١١٪ قد تقلل قوة الشد النوعية في تربة رملية طفلية ناعمة بنسبة تتراوح من ١٥ إلى ٣٥٪. تتضمن العوامل الأخرى وثيقة الصلة بالتربة كلاً من درجة انضغاط التربة أو غياب الغطاء النباتي ونوعه. قد تزيد قوة الشد بنسبة تتراوح من ١٥ إلى ٣٥٪ عندما تتغير الكثافة النوعية لتربة طفلية ناعمة من ٦٨ ,١ إلى ٨٣ ,١.

تبين معظم الدراسات المعروفة أن قوة الشد النوعية لمحراث تتناقص بصفة عامة عندما يزداد العمق إلى قيمة عظمى معينة من نسبة العمق/ العرض وعندئذ تزداد بزيادة العمق. وقد نشر أن أقل قوة شد نوعية لعدد من الأبدان عرضها ٣٦ سم (١٤ بوصة) كانت عند أعماق تتراوح من ١٣ إلى ١٨ سم (٥ إلى ٧ بوصات). ووجد

أيضًا أن قوة الشد النوعية ازدادت عندما نقص عرض السلاح لأقل من ٢٦ سم. وقد أوضحت نتائج مصادر عديدة أن قوة الشد للسكين القرصية قد تتراوح من ١٠ إلى ١٧٪ من قوة الشد الكلية للمحراث والسكين معًا. كما أوضح اختبار مقارن في تربة طفلية أنه قد يحدث انخفاض في قوة الشد بنسبة تتراوح من ٥ إلى ٧٪ عند أخذ معظم قوة الدفع الجانبية على عجلة الأخدود الخلفية بدلاً من المسند كله.

دمج (McKibben and Reed, 1952) العديد من نتائج اختبار قوة الشد مقابل السرعة. فلقد وقعا النسبة المئوية للزيادة في قوة الشد كدالة في السرعة، معتبرين أن قوة الشد عند ٤,٨٣كم/ س (٣ ميل/ س) تمثل نسبة ١٠٠٪ في كل حالة. تم الحصول على هذه البيانات من الحرث عدة مرات بالمحراث القلاب المطرحي، كانت غالبًا عند سرعات تتراوح من ١,٦ إلى ١٣ كم/ س (١ إلى ٨ ميل/ س). يمكن تمثيل بيانات المحراث القلاب المطرحي تمثيلاً جيدًا بالعلاقة:

$$\frac{D_s}{D_r} = 0.83 + 0.00730\, S^2 \qquad (٥,٣٧)$$

حيث:

D_r = قوة الشد عند السرعة المرجعية ٤,٨٣ كم/ س

D_s = قوة الشد عند السرعة (S)، نفس وحدات (D_r)

S = السرعة، كم/ س.

قدم (Hendrick, CRC, 1988) المعادلات التالية لقوة الشد النوعية (نيوتن/ سم^2) لأنواع مختلفة من التربة:

طميية طينية (جنوب تكساس)	7 + 0.049 S2
طينية طفلية	6 + 0.053 S2
طينية طميية (شمال إلينوي)	4.8 + 0.024 S2
طفلة دافيدسون	3 + 0.020 S2

رملية طميية	3 + 0.032 S2
رملية طفلية	2.8 + 0.013 S2
رملية	2 + 0.013 S2

بمجرد تعيين قوة الشد النوعية ، يمكن حساب قوة الشد الكلية بضرب قوة الشد النوعية في المساحة الكلية لمقطع المحراث . حينئذ يمكن إيجاد متطلبات القدرة بضرب قوة الشد الكلية في سرعة الآلة .

٢,٣,٥ المعدات القرصية

يقاس أداء المعدات القرصية بمعلومية كل من قوة الشد الأفقية ، قوة الشد النوعية ، متطلبات القدرة ، والعمق . على خلاف المحاريث القلابة المطرحية ، يحدد عمق اختراق المعدة القرصية بوزنها وحالة التربة . لذلك ، تصبح قابلية الحفاظ على العمق المتجانس معياراً هاماً للأداء .

المحاريث القرصية . ابتكر (Hendrick, CRC, 1988) معادلات لحساب قوة الشد لكل وحدة مساحة من مقطع شريحة الأخدود لقرص قطره ٦٦سم ، وزاوية ميله ٢٢° ، وزاوية القرص له ٤٥° . تعطى قوة الشد النوعية بالنيوتن/ سم^2 من المعادلات التالية :

طين ديكاتير

$$\text{Specific draft (N/cm}^2) = 5.2 + 0.039\ S^2 \qquad (٥,٣٨)$$

طفلة دافيدسون

$$\text{Specific draft (N/cm}^2) = 2.4 + 0.045\ S^2 \qquad (٥,٣٩)$$

حيث :

S = السرعة ، كم/ س .

الأمشاط القرصية . قوة الشد اللازمة للأمشاط القرصية تكون دالة في

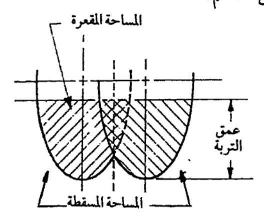
الكتلة (كجم) عند أي سرعة كالتالي:

Clay Draft (N) = 14.7 M

Silt Loam Draft (N) = 11.7 M

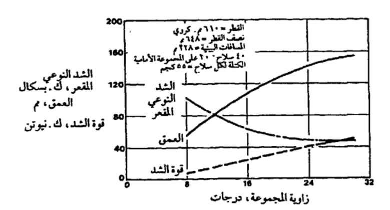
Sandy Loams Draft (N) = 7.8 M (٥,٤٠)

تتراوح الأوزان النموذجية للأمشاط القرصية من ١٦٠ إلى ٢٠٠ كجم/ م من العرض للنوع المزدوج المعلق ذي الأقراص تتراوح أقطارها من ٤١ إلى ٥١ سم. وتتراوح كتلة النوع ذي العجلات من ٢٤٠ إلى ٥١٠ كجم/ م مع أقراص تتراوح أقطارها من ٤١ إلى ٦٦ سم. كما تتراوح كتلة الأمشاط المنحرفة المجرورة مع وجود عجلات من ٣٩٠ إلى ٨٩٠ كجم/ م مع أقراص تتراوح أقطارها من ٥٦ إلى ٨١ سم. تطبق الأرقام المذكورة أيضًا على الأمشاط التي ليس لها عجلات وتتراوح أقطار أقراصها من ٦١ إلى ٨١ سم.



شكل ٥,٤٥. مساحات الضغط المقعرة والمسقطة. (عن: Sommer et al., 1983)

أقراص الحراثة. لخص(Sommer et al., 1983) نتائج دراسة استمرت لمدة خمس سنوات تمت على قرص حراثة أولية ذي سلاح قطره ٦١٠ م وتتراوح كتلته من ٥٥ إلى ١٢٠ كجم/ سلاح. ركزت الاختبارات على تأثير كل من زاوية المجموعة، كتلة كل سلاح، نوع السلاح، المسافات البينية، والسرعة على العناصر المحددة



شكل ٥,٤٦. تأثير زاوية المجموعة على أداء القرص. (عن: Sommer et al., 1983)

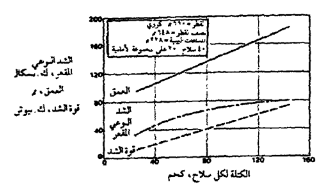
للأداء مثل: الشد النوعي المقعر، والعمق، وقوة الشد. يحسب الشد النوعي بقسمة قوة الشد الكلية على مساحة الضغط المقعرة. المساحات المقعرة والمسقطة معطاة في الشكل رقم (٥,٤٥). وقد ابتكروا أيضًا معادلات تنبؤية باستخدام قرص أساس ذي سلاح قطره ٦١٠م ونصف قطر كروي ٦٤٨م. وكانت المسافات البينية للأقراص ٢٢٨م مع كتلة حوالي ٥٥ كجم/ قرص. وكان العدد الكلي للأسلحة ٤٠ سلاحًا على قرص الحراثة المزدوج والمنحرف. يبين الشكل رقم (٥,٤٦) تأثير زاوية المجموعة. يزداد كل من قوة الشد والعمق بزيادة زاوية المجموعة بينما يتناقص الشد النوعي المقعر. ابتكرت المعادلات التنبؤية التالية:

$$\text{Depth (mm)} = -0.15\,(\alpha^2 - 67.3\,\alpha + 104) \qquad (٥,٤١)$$

$$\text{Draft (kN)} = -0.013\,(\alpha^2 - 181\,\alpha + 808) \qquad (٥,٤٢)$$

حيث:

α = زاوية المجموعة، °.



شكل ٥,٤٧ . تأثير الكتلة الواقعة على كل سلاح على أداء القرص.

(عن: Sommer et al., 1983)

يبين الشكل رقم (٥,٤٧) تأثير الكتلة الواقعة على كل سلاح عند زاوية مجموعة ١٨°. تؤدي زيادة الكتلة الواقعة على السلاح إلى زيادة كل من الشد النوعي المقعر، العمق وقوة الشد. تبين الزيادة في الشد النوعي المقعر أن قوة الشد تزداد بصورة أسرع من زيادة المساحة المحروثة. استنتجت المعادلات التالية:

زاوية المجموعة ١٨°

$$\text{Depth (mm)} = K_d\,(-4.93\,\beta - 509) \quad (٥,٤٣)$$

$$\text{Draft (kN)} = K_f\,(-39.2\,\beta + 42) \quad (٥,٤٤)$$

زاوية المجموعة ٢٢°

$$\text{Depth (mm)} = K_d\,(-2.9\,\beta - 733) \quad (٥,٤٥)$$

$$\text{Draft (kN)} = K_f\,(-36.2\,\beta + 700) \quad (٥,٤٦)$$

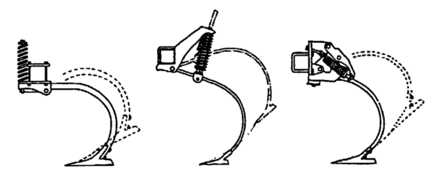
حيث:

β = كتلة كل سلاح، كجم.

وجد أن قيم كل من (K_d) و (K_f) هي - ١٥, ٠ و - ٠١٣, ٠ على الترتيب.

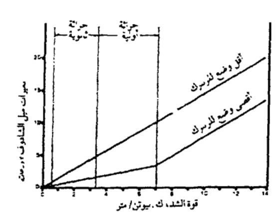
٣, ٣, ٥ العزاقات

درس (Gullacher and Coates, 1980) تأثير درجة ميل جاروف العزاقة على قوى الحراثة. وقد قاما بقياس كل من قوتي الشد والسحب. يعرف السحب على أنه القوة الرأسية التي تؤثر بها التربة على الجاروف. يبين الشكل رقم (٤٨, ٥) ثلاثة أنماط نموذجية للقصبات المستخدمة لتعليق جواريف العزاقات. تعرف الزاوية التي يميل بها مستوى قاع الشادوف على المستوى الأفقي بأنها درجة ميل الجاروف. وتكون درجة الميل موجبة عندما يكون طرف الجاروف أوطى من مؤخرته. كما تتسبب قوى التربة على الجاروف أثناء الحراثة في زيادة درجة ميله كما هو موضح في الشكل رقم (٤٩, ٥). ترجع الزيادة في درجة الميل عند قوى صغيرة إلى متوسطة ترجع أساساً إلى مرونة القصبة. لكن عند زيادة القوى عن الحمل الأولي للزنبرك، تبدأ القصبة في الدوران لأعلى وتزداد درجة الميل بمعدل أسرع.



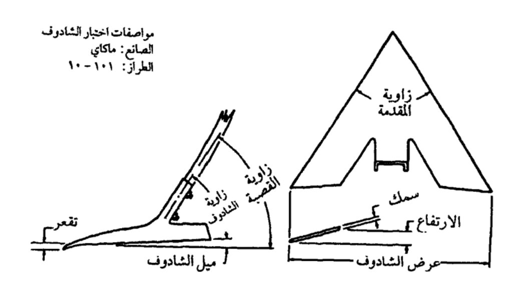
شكل ٤٨, ٥. الأنماط النموذجية للقصبات. (عن: Gullacher and Coates, 1980)

يبين الشكل رقم (٥٠, ٥) الشكل الهندسي وأبعاد الجاروف المستخدم في هذه الدراسة. ولقد وجدا أنه أثناء عملية الحراثة الأولية، زادت قوة الشد لوحدة



شكل ٥,٤٩. التغيرات في درجة ميل الجاروف لمدى واسع من قوى الحرث العمودية لنمط واحد من القصبات.

(عن : Gullacher and Coates, 1980)



الأبعاد:

- عرض الشادوف ٢٥٨م
- الارتفاع ٢٠م
- السمك ٤,٩م
- تقعر المقدمة (السحب) ٦م
- زاوية المقدمة ٦٠,٥°
- زاوية الشادوف ٤٨°

شكل ٥,٥٠. مواصفات اختبار الجاروف. (عن : Gullacher and Coates, 1980)

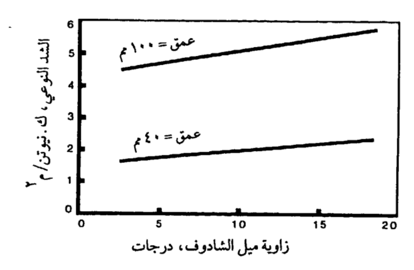
العرض بنسبة ٣١٪ تقريبًا وذلك من ١,٧ كيلونيوتن/ م عند ٢,٥° إلى ٢,٣ كيلونيوتن/ م عند ١٨,٥°. تم الحصول على هذه النتائج عند عمق ٤٠ م وسرعة ٨ كم/ س. وهي تمثل زيادة قدرها ٢٪ لكل درجة تغيير في زاوية الميل. ازدادت قوة الشد أثناء عملية الحراثة الثانوية في أراضي نهرية طفلية تحت ظروف تشغيل مشابهة من ٠,٨ كيلونيوتن/ م إلى ١,٧ كيلونيوتن/ م، نسبة الزيادة ١٠٦٪. وكانت نسبة الزيادة عند عمق ٦٠ م هي ٧٨٪. هذه البيانات موضحة في الشكلين رقمي (٥,٥١) و(٥,٥٢).

سجل (Hendrick, CRC, 1988) قوة الشد للمحاريث الحفارة والعزاقات الحقلية عندما تعمل في تربة متماسكة على مسافات بينية ٣٠ سم وعلى عمق ٨,٢٦ سم وتسير بسرعة تتراوح من ٥,٥ إلى ١٠,٥ كم/ س كالتالي:

Loam (Saskatchewan): Draft (N) = 520 + 49.2 S

Clay Loam (Saskatchewan): Draft (N) = 480 + 48.1 S

Clay (Saskatchewan): Draft (N) = 527 + 36.1 S (٥,٤٧)



شكل ٥,٥١. التغير في قوة الشد النوعية مع تغير درجة ميل الجاروف للحراثة الأولية في تربة نهرية طفلية عند سرعة ٨ كم/ س.

(عن : Gullacher and Coates, 1980)



شكل ٥,٥٢. التغير في قوة الشد النوعية مع تغير درجة ميل الجاروف للحراثة الثانوية في تربة نهرية طفلية عند سرعة ٨ كم/س.
(عن: Gullacher and Coates, 1980)

تعطى قوة الشد عند عمق (d) بالعلاقة:

$$D = D_{8.26}\left(\frac{d}{8.26}\right)^2 \qquad (٥,٤٨)$$

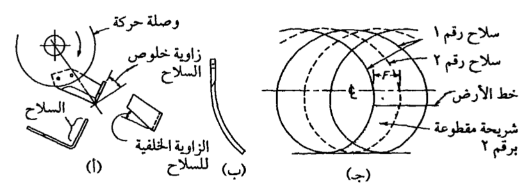
حيث:
$D_{8.26}$ = قوة الشد عند عمق ٨,٢٦ سم
d = العمق، سم.

٥,٣,٤ المحاريث الدورانية

المحاريث الدورانية هي في الأصل أسلحة على شكل حرف (L) مركبة على عمود يدار من عمود مأخذ القدرة. يصل عرض المحاريث إلى ٤ م. المحاريث الدورانية شائعة جداً في حقول الأرز أساسًا من أجل عمليات التلويط (التسوية في وجود الماء). تنتج المحاريث الدورانية درجة عالية من التفتت ولكنها تحتاج متطلبات عالية من القدرة.

يبين الشكل رقم (٥,٥٣) سلاحًا على شكل حرف (L) لمحراث دوراني تقليدي ومسار القطع كما يرسمه السلاح. يدور الدوار في نفس اتجاه الحركة الأمامية. يصنع المحراث من قطعتين إلى ثلاث قطع لكل لفة من السلاح. كما يعرف

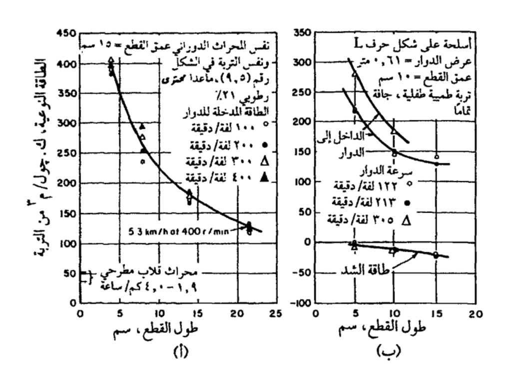
طول القطع على أنه مقدار الحركة الأمامية لكل قطعة. ويتأثر طول القطع بالسرعة الدورانية والسرعة الأمامية.



شكل ٥,٥٣. (أ) ثلاثة أشكال لسلاح على شكل حرف (L) لمحراث دوراني، (ب) سلاح مقعر (جـ) مسارات أطراف القطع لسلاحين على زاوية تباعد ١٨٠°، مرتبطين بالسرعة الأمامية.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

يولد الدوار رد فعل للأمام ولأعلى. ويولد رد الفعل الأمامي قوة سحب على الجرار بينما يقلل السحب العلوي من وزن المعدة. وتحت ظروف التربة الصلبة، قد ينسحب المحراث من التربة بسبب رد الفعل المتجه لأعلى. وتزداد كل من قوى ردود الأفعال بزيادة العمق. كما يمثل رد الفعل الأمامي متطلبات قدرة سالبة والتي تكون بصفة عامة أقل من ٧٪ من قدرة عمود مأخذ القدرة ويمكن أن تصل إلى ٢٠٪ حسب طول القطع. تقلل زيادة طول القطع من متطلبات الطاقة النوعية. وتعرف الطاقة النوعية على أنها الطاقة الكلية المطلوبة مقسومة على الحجم الكلي للتربة المثارة بالمحراث. و تتأثر متطلبات الطاقة بنسبة العمق إلى قطر الدوار. كما هو موضح في الشكل رقم (٥,٥٤)، أقل طاقة نوعية للمحراث الدوراني تكون أعلى بحوالي ثلاث مرات من تلك المطلوبة للمحراث القلاب المطرحي في التربة نفسها. على الرغم من أن المحراث الدوراني قد ينتج نفس درجة التفتيت المتحصل عليها بحرثة واحدة بالمحراث القلاب المطرحي، يعقبها حرثتان بالمشط القرصي وحرثة واحدة بالمشط ذي الأسنان. يجب أن تؤخذ هذه العوامل في الاعتبار عند مقارنة المحراث الدوراني بأسلحة حراثة أخرى.



شكل ٥,٥٤. تأثير طول القطع على متطلبات الطاقة النوعية لمحراث دوراني تقليدي. (عن : Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

٥,٤ شبك معدات الحراثة

المادة العلمية المقدمة في هذا الجزأ مأخوذة من (Kepner, 1978) بعد إعادة ترتيبها.

٥,٤,١ تمثيل القوة لسلاح آلة حراثة

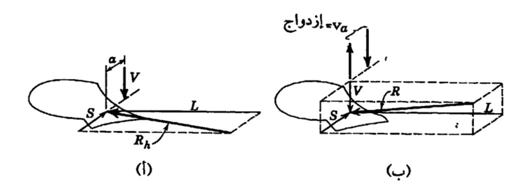
يتعرض سلاح الحراثة المتحرك في التربة إلى القوى التالية :

١ـ وزن المعدة

٢ـ قوى ردود فعل التربة

٣ـ القوى المبذولة بالحركة الأمامية .

يحدد وزن المعدة عمق التشغيل في حالات المعدات القرصية. عادة يضاف الوزن لتحسين الاختراق في الأراضي الصلبة. وتقسم قوى ردود فعل التربة إلى قوى نافعة وقوى غير نافعة. قوى التربة النافعة هي تلك القوى المطلوبة لقطع وتفتيت ونقل التربة. القوى غير النافعة هي الناتجة عن الاحتكاك ومقاومة الدوران وتؤثر على أسطح التثبيت مثل المسند وعجلة الأخدود. وتحدد القوى النافعة بحالة التربة بينما تتأثر القوى غير النافعة بتصميم السلاح وأدوات ضبطه. محصلة القوى المبذولة بالحركة الأولية هي قوة سحب وحدة القدرة للمعدة.



شكل ٥,٥٥. طريقتان للتعبيرعن رد الفعل الكلي للتربة على سلاح آلة حراثة عند وجود تأثير دوراني: (أ) قوتان غير متقاطعتين، (R_h) و (V) (ب) قوة واحدة (R) وازدواج (V_a) في مستوى عمودي على خط الحركة.

(عن : Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

عندما يكون السطح غير متماثل ، تنتج التأثيرات الدورانية بواسطة القوى النافعة. وهناك العديد من الطرق المستخدمة في تمثيل هذه القوى على سلاح آلة الحراثة. تتكون الطريقة الموضحة في الشكل رقم (٥,٥٥) من ثلاث متجهات قوى عمودية متبادلة وعزم. لمعدة حراثة مع العديد من الأسلحة المرفقة، تحسب محصلة القوى لكل بدن على حدة. وتستخدم محصلة القوى المؤثرة على كل المعدة في عمليات ضبط الشبك. الهدف من الشبك المثالي هو تقليل القوى غير النافعة والحصول على تشغيل متزن.

تستخدم الرموز التالية عند تحليل شبك معدات الحراثة:

R = محصلة كل القوى النافعة المؤثرة على المحراث

L = المركبة الطولية لـ (R)

S = المركبة الجانبية لـ (R)

V = المركبة الرأسية لـ (R)

Q = محصلة كل القوى غير النافعة المؤثرة على المحراث

P = محصلة قوة السحب المبذولة بواسطة الجرار

W = وزن المعدة

الرموز التحتية:

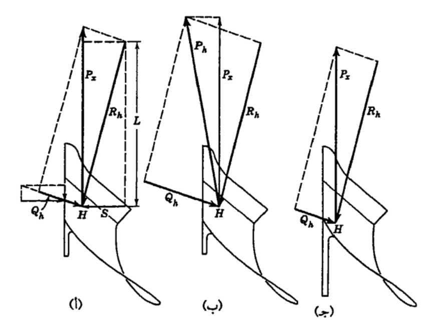
h = المركبة الأفقية للقوة

v = المركبة الرأسية للقوة.

مركبات قوى التربة النافعة (L) و (S) و (V) (أو المحصلات (R_h) و (R_v)) وكذلك قوى الجاذبية للمعدات (W) هي قوى متغيرة مستقلة تؤثر في تحليل قوى الشبك على عمود الشد البسيط أو في حالة نظام الشبك المتكامل. وقوى التربة غير النافعة (Q) والسحب (P) هي متغيرات غير مستقلة والتي قد تتأثر بطريقة الشبك. وتفترض طرق إجراء التحليل في هذا الجزء أن القوة (W) وكذلك مركبات القوى النافعة معروفة أو أنه يمكن تقديرها. هناك طريقة أخرى لتحديد علاقات القوى بين المعدات والجرار، وهي القياس الفعلي لقيمة واتجاه الشد (أو مركباتها).

تمثيل القوى لمحراث قلاب مطرحي. يبين الشكل رقم (٥,٥٦) تمثيلاً نموذجيًا لمركبة قوى التربة النافعة (R_h)، ومركبة القوى غير النافعة (Q_h) والمركبة الأفقية لقوة السحب (P_x) كما اقترحها (Clyde, 1944). تتكون القوة (R_h) من مركبة جانبية (S) ومركبة طولية (L). بصفة عامة تتراوح النسبة (S/L) من ٠,٣٥ إلى ٠,٤٥ للتربة الرملية (Randolph and Reed, 1938) ومن ٠,٢٥ إلى ٠,٤٥ للتربة الرملية الطفلية (Getzlaff, 1953; Nichols et al., 1958; Randolf and Reed, 1938) ومن ٠,٢ إلى ٠,٣ للتربة الطينية الطفلية (Cooper and McCreery, 1961) مع نزع السكين القرصية في كل

الحالات (Clyde, 1944). من خلال هذه النسب يمكن تحديد خط عمل القوة (R_h). تتكون مركبة القوى غير النافعة (Q_h) من قوة رد فعل المسند والتي تساوي (S) ولكنها مضادة لها في الاتجاه، ومن قوة الاحتكاك التي تؤثر على سطح المسند في عكس اتجاه الحركة. تحدد قوة الاحتكاك من حاصل ضرب قوة رد الفعل في معامل الاحتكاك بين التربة والمعدن. يحدد الاحتكاك بين التربة - المعدن خط عمل (Q_h). بتعيين متجهات القوى غير النافعة والنافعة، يمكن إيجاد قيمة قوة الشد (P_x) على طول خط السحب بجمع متجهات هذه القوى. تسمى نقطة التقاء المتجهات مركز المقاومات وتقع في منتصف طول المسند وعلى مسافة ثلث العرض من المسند والموضحة بالنقطة (H) في الشكل. وكما هو مبين في الشكل رقم (٥,٥٦جـ)، فإن زيادة طول المسند تحرك مركز المقاومات إلى خلف بدن المحراث. وينبغي أيضًا أن نلاحظ أن النقطة (H) تتحرك بالقرب من المسند طالما أن خط عمل القوة (R_h) لم يتغير. يوضح الشكل رقم (٥,٥٦ب) تأثير قوة السحب المائلة على قوة الشد الأفقية (P_x) والقوة غير النافعة

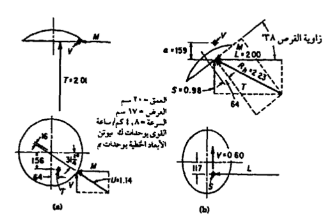


شكل ٥,٥٦. الوضع النموذجي لـ (P_h) وعلاقتها بقوى المسند والسحب: (أ) الشد في خط مستقيم، (ب) شد بزاوية، (جـ) مسند طويل.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

(Q_h). في هذه الحالة، يسحب المحراث بصعوبة ضد حائط الأخدود ويرجع ذلك إلى أن خط السحب يختلف عن خط اتجاه الحركة. ويسبب ذلك قوة رد فعل أكبر (المركبة الجانبية لـ(Q_h)) وبالتالي قوة احتكاك أكبر. وتكون النتيجة النهائية هي زيادة قوة الشد.

تمثيل القوى على سلاح قرصي. يمكن تمثيل التأثير النهائي لجميع القوى المؤثرة على الأسلحة القرصية والناتجة عن تأثير عمليات القطع والتفتيت ورفع وقلب التربة المقطوعة من الأخدود، بالإضافة إلى أي قوى غير مفيدة مؤثرة على القرص بإحدى الطرق العديدة المعروفة. ففي الشكل رقم (٥,٥٧أ) يمثل تأثير المحصلة بقوتين غير متقاطعتين، إحداهما قوة محورية (عمودية) (T) موازية لمحور القرص، والثانية قوة نصف قطرية (U). وهذه الطريقة لها مميزات في حساب الأحمال على دعائم محامل القرص، ودائمًا تكون القوة المحورية تحت خط مركز القرص. وذلك لأن التربة تؤثر على الجزء الأسفل من وجه القرص. القوة نصف القطرية، والتي تشمل القوة الرأسية على سلاح القرص، يجب أن تمر خلف مركز القرص بمسافة قليلة لتعطي العزم اللازم للتغلب على الاحتكاك في محامل المحاور، وبذلك تسبب دوران القرص.

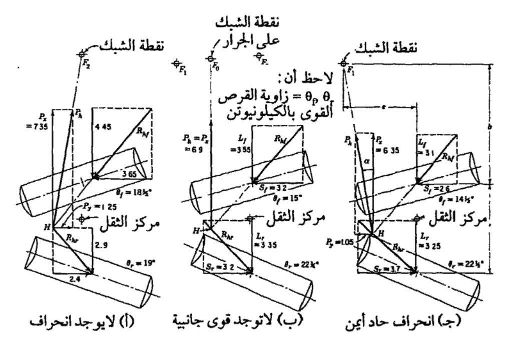


شكل ٥,٥٧. مثال على محصلة قوى التربة المؤثرة على سلاح قرصي رأسي. التأثير الكلي ممثل بقوتين غير متقاطعتين: (أ) قوة محورية (T) و قوة نصف قطرية (U) (ب) قوة أفقية (Rh) وقوة رأسية (V).

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al, 1978)

يمكن التعبير أيضًا عن تأثير المحصلة بمركبات القوى الطولية والجانبية والرأسية (L, S, V) بالإضافة إلى محصلات هذه المركبات كما هو موضح في الشكل رقم (٥,٥٧ب). يكون هذا التمثيل أكثر فائدة عندما يأخذ في الاعتبار تأثيرات قوى التربة على كل الآلة. في الشكل رقم (٥,٥٧ب)، تدمج المركبات (S) و (L) في محصلة أفقية (R_h) وبالتالي يمثل التأثير الكلي بقوتين غير متقاطعتين. ولأن هاتين القوتين لاتتقاطعان، فإنهما يشكلا عزم ازدواج (V_a) يسبب دوران القرص.

القوى على مشط قرصي. يبين الشكل رقم (٥٫٥٨) القوى المؤثرة على مشط قرصي منحرف بدون عجلات عندما يعمل بدون قوى جانبية. يحدد موضع مركز المقاومة الأفقي (H) بتقاطع القوى (R_{hf}) و (R_{hr}). وفي حالة عدم وجود قوى جانبية يصبح من الضروري ضبط وصلة الشبك للمشط القرصي لكي تكون نقطة الشبك (F_o) أمام النقطة (H) مباشرة.



شكل ٥,٥٨. علاقات القوى الأفقية لمشط قرصي مقطور منحرف ناحية اليمين بدون عجلات. (عن : Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

إذا تغيرت وصلة الشبك لتحريك الآلة إما إلى اليمين أو إلى اليسار من الوضع الذي لاتوجد به قوى جانبية، تتولد تلقائيًا قوى جانبية ومن ثم تتغير ظروف عمل المشط القرصي. على سبيل المثال إذا تحركت نقطة الشبك في الشكل رقم (٥,٥٨أ) من (F_0) إلى (F_2)، فإن ذلك يؤدي إلى اختلال لحظي في نظام اتزان القوى وتعمل المركبة الجانبية للشد الجديد، والمؤثر عند النقطة (H)، على دوران الآلة في عكس اتجاه دوران عقارب الساعة حول (F_2). يستمر الدوران حتى تقوم زوايا القرص للمجموعتين بضبط نفسها إلى الحد الذي تصبح فيه الفروق بين مركباتهما الجانبية (S_f) و(S_r) متساوية مع الشد الجانبي (P_y). لاحظ أن قيم (L_f) و(L_r) وموضع النقطة (H) تتغير أيضًا خلال عملية إعادة الضبط هذه.

العلاقات بين القوى المؤثرة على مشط قرصي زوجي الفعل تكون متماثلة حول خط مركز الآلة، وذلك لأن المجموعتين الأماميتين تعملان تحت نفس ظروف التربة (غير محروثة)، ويقوى جانبية متساوية ومتضادة في الاتجاه مع بعضها، بينما تعمل الوحدتان الخلفيتان في تربة محروثة.

قيمة الانحراف المتاح. افترض أن (e) هي قيمة الانحراف من نقطة الشبك إلى مركز القطع، و(α) هي الزاوية الأفقية للشد، و(d) هي المسافة الطولية بين مركز مجموعتي المشط القرصي، و(b) هي المسافة الطولية من مركز الوحدة الأمامية إلى نقطة الشبك، الشكل رقم (٥,٥٨جـ). بأخذ العزوم حول النقطة (F_1) نحصل على العلاقة التالية بفرض أن (R_{hf}) و(R_{hr}) يمران خلال مركز المجموعات:

$$e L_f + e L_r + b S_f - (b + d) S_r = 0$$

ومنها نحصل على:

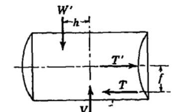
$$e = \frac{b\left(S_r - S_f\right) + d S_f}{L_f + L_r} = b \tan \alpha + \frac{d S_r}{L_f + L_r} \qquad (٥,٤٩)$$

وفي حالة عدم وجود قوة شد جانبية فإن ($S_f = S_r = S$) و($\alpha = 0$). وبالتالي، ومن المعادلة رقم (٥,٤٩) يصبح الانحراف عند عدم وجود شد جانبي هو:

$$e_o = \frac{d\,S}{L_f + L_r} \quad (٥,٥٠)$$

توضح المعادلة رقم (٥,٥٠) أن كمية الانحراف التي يمكن الحصول عليها بدون شد جانبي هي دالة فقط في المسافة بين الوحدات والقيم النسبية لرد فعل التربة الجانبي والطولي. تتأثر العلاقات بين قوى التربة بحالات التربة، وزوايا القرص، وأبعاد سلاح القرص، والتقعر وعوامل أخرى. تزداد نسبة (S/L) بزيادة زاوية القرص، وبناء على نتائج (Clyde, 1944) فإن هذه النسبة تكون أعلى في الأراضي المتماسكة عنها في الأراضي الرخوة الناعمة.

عزوم الازدواج المؤثرة على مجموعات الأمشاط القرصية. من الحقائق المعروفة أن الجانب المقعر للمشط القرصي يميل للتعمق أكثر من الجانب المحدب. ويحدث ذلك لأن محصلة قوى التربة (F_2) العمودية على سلاح القرص، تؤثر تحت مستوى محور القرص، الشكل رقم (٥,٥٩)، بينما تؤثر قوى التوازن (T') عند ارتفاع المحور، لذا فإنها تؤدي إلى نشوء عزم ازدواج قيمته (T * f).



شكل ٥,٥٩. قوى الدفع المحورية والقوى الرأسية المؤثرة على مجموعة مشط قرصي. (عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

ومع اختراق متجانس، فإن القوة (V) سوف تعمل تقريبًا عند مركز المجموعة. وللحصول على اختراق متجانس لمجموعة واحدة، فإن محصلة القوى الرأسية إلى أسفل (W') (وزن المعدة مركبة الشد إلى أعلى) يجب أن تؤثر على مسافة قدرها (h) من مركز المجموعة (في اتجاه الجانب المحدب) كالتالي:

$$W'\,h = T * f \quad (٥,٥١)$$

ويكون الأمر سهلاً نسبيًا مع الأمشاط القرصية أحادية وزوجية الفعل للحصول على اختراق متجانس وذلك بجعل عزوم الوحدات المتقابلة العرضية تعادل بعضها البعض خلال الإطار. وتكون مشكلة التصميم أكثر تعقيداً في حالة المشط القرصي المنحرف. وذلك نظراً لأن العزوم المتقابلة تجعل الإطار بين المجموعتين تحت تأثير عزم التواء. ومن الأمور الهامة أيضًا أن تكون صلابة مقاومة الالتواء كافية بالإضافة إلى وجود ضوابط ملائمة للتسوية العرضية لإحدى المجموعتين بالنسبة للأخرى.

من التطبيقات الشائعة في تحليل العلاقات بين القوى لشبك معدات الحراثة إعطاء اعتبار خاص للمركبات الأفقية لكل من (R) و(Q) و(P) وللقوة (W) ومركبات هذه القوى في المستوى الرأسي (أو المستويات الرأسية) الموازية لاتجاه الحركة. يشار إلى هذه الاعتبارات بالشبك الأفقي والشبك الرأسي.

تأخذ الأجزاء التالية في الاعتبار علاقات القوى المتعلقة بعملية الشبك في الآلات المقطورة والمعلقة.

٢,٤,٥ المعدات المقطورة.

إنه من الضروري تحديد أماكن أو قيم محصلة قوى الدعم غير النافعة (Q_h) أو (Q_v) وكذلك قوة الشد (P_h) أو (P_v) والتي تكون مطلوبة أكثر من منطلق تحديد تأثير قوة الشد على الجرار وكذلك على قيمة وتوزيع القوى غير النافعة المؤثرة على الآلة.

الشبك الرأسي. تقع عادة معدات الحراثة المقطورة تحت واحد من الأقسام الثلاثة التالية، وذلك بناء على طريقة عمل الشبك الرأسي، وتأثير الشبك على نظام القوى:

١ ـ معدات ذات وصلات شد مفصلية والتي لها عجلات ارتكاز أو عجلات لتحديد العمق. ويعمل عمود الشد كذراع حر في المستوى الرأسي. وأمثلة ذلك هي: المحاريث المطرحية والمحاريث القرصية والأمشاط المجرفية ذات الأسنان الزنبركية.

٢ ـ معدات ذات وصلات شد مفصلية وليس لها عجلات لتحديد العمق.

ويأتي الدعم الوحيد لها فقط عن طريق الوحدات التي تعمل بالتربة، ولا يمكن فصل القوى غير النافعة عن القوى النافعة للتربة. وأمثلة ذلك الأمشاط القرصية بدون عجلات والأمشاط ذات الأسنان، والعزاقات الدورانية المترادفة.

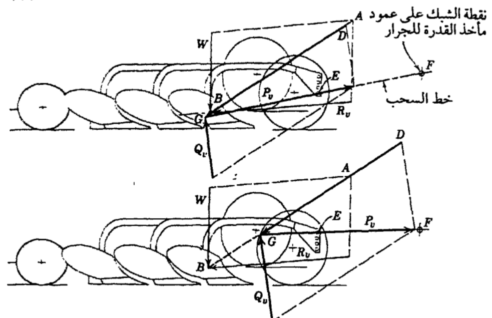
٣ـ معدات ذات محور واحد مع وصلات شد ثابتة. وأمثلة ذلك العزاقات الحقلية والمحاريث الحفارة، ومحاريث تحت التربة، وكذلك الأمشاط القرصية والتي لها عجلات تستخدم في النقل والتحكم في العمق.

العلاقات بين القوى موضحة في الأجزاء التالية مع مثال لكل نوع، كذلك هناك توصيات لضبط الشبك لبعض الأنواع الأخرى. ولابد أن نتذكر دائمًا في كل حالات تحليل القوى، أن اتجاه وقيمة (R_h) قد تختلف اختلافًا كبيراً عن القيم الموضحة حتى لو كانت في حقل واحد.

معدات ذات وصلات شد مفصلية وعجلات دعم. يبين الشكل رقم (٦٠ , ٥) العلاقات بين القوى الرأسية لمحراث مطرحي مقطور. وللحصول على حركة متجانسة لابد أن تكون القوى (W) و(R_v) و(Q_v) في حالة اتزان. وبمعرفة قيمة وموقع قوة الجاذبية (W) وكذلك قوة التربة النافعة (R_v) تحت ظروف محددة فإن أول خطوة في تحليل الشبك هي ضم القوى بطريقة تخطيطية في المحصلة (AB).

يلي ذلك تحديد خط الشد. ويجب أن يمر خلال نقطة الشبك (F) على الجرار وكذلك خلال محور الشبك المفصلي الذي يتم اختياره عند (E) حيث يعمل عمود الشد كذراع حر في المستوى الرأسي. يتقاطع خط الشد والمحصلة (AB) في النقطة (G). بعد ذلك، يتم رسم خط تأثير قوة الارتكاز (Q_v) ليمر عبر النقطة (G)، بالرغم من أن قيمة هذه القوة ليست معروفة حتى الآن. ففي الشكل رقم (٦٠ , ٥) توضح القوة (Q_v) بخط ميل إلى الخلف لتشمل مقاومة دوران العجل الذي يوفر الدعم الرأسي للآلة. فإذا كان الدعم الرأسي يتم في معظمه على سطح منزلق، فإن الميل المطلوب يكون كبيراً لتتضمن قوة الاحتكاك. وحيث إن (P_v) لابد أن تكون في حالة اتزان مع (AB) و(Q_v)، فإن قيم كل من (Q_v) و(P_v) يمكن أن تحدد بتحريك (AB) على طول خط عملها إلى (DG) وبعد ذلك يكمل متوازي أضلاع القوى كما هو مبين.

المثال الموضح أعلاه في الشكل رقم (٦٠ , ٥) يمثل ضبط الشبك المرغوب



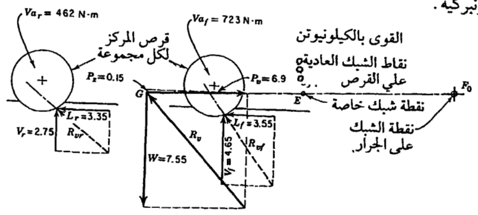
شكل ٥,٦٠. العلاقات بين القوى الرأسية لمعدات مقطورة مدعمة بعجلات وأعضاء شد منفصلة.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

لمحراث قلاب مطرحي مع وجود (Q_v) خلف العجل الأمامي. وبذلك يكون هناك حمل كاف على العجل الخلفي للحصول على تشغيل متزن. والمثال أدناه يمثل ظروف غير عادية، تكون فيها نقطة الشبك (E) مرتفعة جداً على المحراث إلى الحد الذي يجعل (Q_v) تحت العجل الأمامي تقريباً، مع عدم وجود أي حمل محمول على العجلات الخلفية. وتكون مؤخرة المحراث غير متزنة إلى حد بعيد، خاصة عندما نأخذ التغيرات اللحظية في قيمة واتجاه (R_v) بعين الاعتبار.

يؤدي الشبك عند نقطة منخفضة جداً على الآلة إلى تأثير عكسي. وبالتالي تتحرك محصلةقوة الدعم (Q_v) إلى الخلف. ونتيجة لذلك، يقل الحمل على العجلات الأمامية. تقليل أو زيادة ميل القوة (P_v) بدون تغير موقع (G) يقلل أو يزيد من قيمة القوة (Q_v) ولكن لايغير موقعها. ووجود ميل كبير جداً للقوة (P_v) يمكن أن يسبب صعوبة في المحافظة على العمق المطلوب، وبالأخص في حالة الآلات خفيفة الوزن نسبياً. والتي لايكون لها تقعر رأسي، أو لها تقعر قليل مثل المشط ذي الأسنان

الزنبركية .



شكل ٥,٦١ . العلاقات بين القوى الرأسية لمشط قرصي مقطور منحرف أو زوجي بدون عجلات وليس له محور مفصلي بين المجموعات الأمامية والخلفية .

(عن : Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

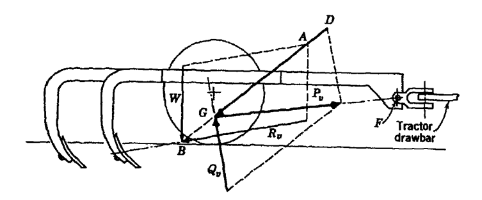
أوصى (Clyde, 1944) بأن يكون للمحراث القلاب المطرحي ضبط أولي لارتفاع الشبك على إطار المحراث ، بحيث يمر خط تأثير (P_v) خلال نقطة منخفضة قليلاً عن سطح التربة وفوق الوضع المتوسط لكل نقط السلاح . وفي حالة المحاريث القرصية فإن نقطة الشبك المقترحة لتحديد خط الشبك تكون عند سطح التربة وفي منتصف المسافة بين مركزي الأقراص الأمامي والخلفي . وإذا كان لعجلة الأخدود الخلفية للمحراث القرصي قدر كاف من التقدم في اتجاه التربة المحروثة ، ومازالت تجنح نحو التسلق خارج الأخدود ، في هذه الحالة يجب خفض نقطة الشبك على إطار المحراث . وبالتالي وضع قدر أكبر من القوة (Q_v) على العجلة الخلفية .

معدات ذات أجزاء شد مفصلية وبدون عجلات تحديد العمق .

يوضح الشكل رقم (٥ , ٦١) العلاقات بين القوى الرأسية لمشط قرصي منحرف أو مزدوج بدون عجلات . يكون الدعم الوحيد من التربة من خلال الأسلحة القرصية . يتحدد موضع النقطة (Q) بتقاطع خط عمل القوة (W) مع خط الشد (P_v) . تغير قوى التربة (R_{vf}) و(R_{vr}) وضعهما تلقائيًا عن طريق تغيير العمق ، وبالتالي تمر محصلتهما (R_v) بالنقطة (G) وتكون في حالة اتزان مع (W) و(P_v) .

يعمل رفع نقطة الشبك على إطار الآلة على رفع النقطة (G) وتحريك القوة (R_v) لتكون قريبة من مجموعة الأقراص الأمامية، وبالتالي تزداد (R_{vf}) وتقل (R_{vr}) . وتكون النتيجة زيادة عمق الاختراق لمجموعة الأقراص الأمامية ونقصه للمجموعة الخلفية. ففي المثال الموضح، تكون (R_{vf}) أكبر من (R_{vr}) وذلك لأن مجموعة الأقراص الأمامية تعمل في تربة متماسكة بينما تعمل المجموعة الخلفية في تربة مفككة.

معدات أحادية المحور مع أجزاء شد ثابتة. عندما تلقى المعدات أحادية المحور دعمًا رأسيًا من خلال عجلاتها فقط، يكون موضع (Q_v) ثابتًا. في هذه الحالة يجب أن يمر خط تأثير (Q_v) خلف خط مركز المحور بقليل، الشكل رقم (٥,٦٢) وذلك للحصول على العزم اللازم للتغلب على الاحتكاك في محامل التحميل، ويسبب دوران العجلات أثناء العمل. وتحدد النقطة (G) بتقاطع (AB) مع (Q_v)، يمر خط الشد خلال (G) ونقطة الشبك الرأسي (F) عند عمود الشد على الجرار. يتمثل الضبط المحتمل للشبك فقط في تغيير ارتفاع عمود الشد عند (F) والذي يعمل بدوره على تغيير ميل (P_v) . في المثال الموضح، مع وجود ميل في (R_v) إلى أسفل، فإن تحرك العجل إلى الخلف بالنسبة للأسلحة التي تتعامل مع التربة يزيد من ميل (P_v) ويقلل من قيمة (Q_v) .



شكل ٥,٦٢ . العلاقات بين القوى الرأسية لمعدات مقطورة أحادية المحور تلقى دعمًا رأسيًا من عجلاتها فقط.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

العلاقات بين القوى المؤثرة على المشط القرصي الذي يحتوي على عجلات للتحكم في العمق تكون أساسًا نفس العلاقات الموضحة في الشكل رقم (٥,٦٢)، ولكن تكون (R_v) ذات ميل أكبر لأعلى كما هو مبين في الشكل رقم (٥,٦١). يمكن تحديد موقع (R_v) للمجموعتين الأمامية والخلفية بالأعماق النسبية ومقاومات التربة لكل من المجموعتين. وتعتمد الأعماق النسبية على مقدار ارتفاع الإطار، كما يحدد بالضبط الرأسي لوصلة الشد الثابتة.

الشبك الأفقي. أغلب معدات الحراثة، ماعدا المحراث القلاب المطرحي والقرصي وكذلك المشط القرصي المنحرف، تكون متماثلة حول خط المركز الطولي. وبالتالي تكون مركبات القوى الجانبية للتربة متزنة. وعليه يكون المركز الأفقي للمقاومة عند مركز العرض المحروث ويكون خط الشبك الأفقي في اتجاه السير.

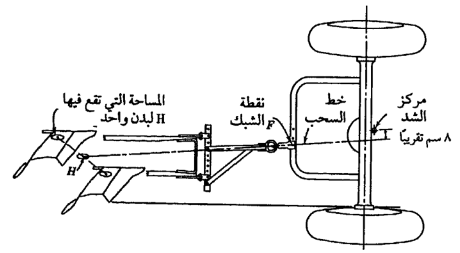
يمكن أن تتحمل المحاريث والأمشاط القرصية المنحرفة قوى جانبية كبيرة (مركبات السحب الجانبية)، والشبك الصحيح ضروري لتقليل تأثير الانحراف على الجرار والآلة. وتمتص المحاريث القلابة المطرحية القوى الجانبية من خلال المساند، بينما تمتصها المحاريث القلابة القرصية من خلال عجلة الأخدود الخلفية، أما في المشط القرصي المنحرف فيتم ذلك بتغيير زاوية القرص تلقائيًا لإيجاد فرق بين المركبات الجانبية لقوى التربة للمجموعتين الأمامية والخلفية. المحاريث القرصية المقطورة يكون لها أساسًا ذراع شد حر، بينما يكون للمحاريث القلابة المطرحية والأمشاط القرصية ذراع شد عرضي غير حر. الشبك الأفقي للمحاريث القلابة المطرحية والقرصية سيناقش في الأجزاء التالية.

ليس من الممكن دائمًا أن يكون مركز المقاومة الأفقي لآلة خلف مركز شد الجرار مباشرة، وخاصة في حالة الآلات غير العريضة، والجرارات ذات العجلات المتباعدة. وإذا كانت الآلة من النوع الذي يتحمل القوى الجانبية، فإن الأوضاع البديلة هي أن يكون الشد مركزيًا ومائلاً ويمر خلال مركز الشد على الجرار، أو أن يكون منحرفًا في خط مستقيم، أو أن يكون منحرفًا ومائلاً بزاوية معينة. وإذا لم تتحمل الآلة القوى الجانبية، فإن البديل الوحيد هو أن يكون خط الشد منحرفًا. وعادةً يؤخذ مركز الشد على الجرار على أنه في منتصف المسافة بين العجلتين

الخلفيتين ويتقدم قليلاً عن المحور.

لا يؤثر الشد المائل المركزي على توجيه الجرار، بينما يؤثر الشد المنحرف. ينتج عن الشد المائل (سواء كان مركزيًا أو منحرفًا) قوى جانبية على عجلات الجرار الخلفية والتي قد تكون كافية في بعض الحالات لرفضها. والشد بزاوية غير مرغوب فيه في بعض المعدات، حتى لو أمكن للمعدة مقاومة الأحمال الجانبية. وعادة يكون من الأفضل قبول حل وسط في عمليات الشبك، وفيه يتحمل الجرار جزءًا من الأحمال الجانبية، بينما تتحمل الآلة الجزء الآخر.

الشبك الأفقي للمحاريث القلابة المطرحية المقطورة. يتحدد موقع مركز المقاومة الأفقية (H) لبدن محراث مطرحي بنقطة تقاطع خط عمل القوة غير النافعة (Q_h) المؤثرة على المسند و (R_h). ويتغير الموقع العرضي للنقطة (H) حسب ظروف التربة، طول المسند، مقدار القوة الجانبية المحملة على عجلة الأخدود الخلفية . . . إلخ. ولأغراض متعلقة بالشبك، يفترض غالبًا أن يكون هذا الموضع عند حوالي ربع عرض القطع ابتداء (من ناحية المسند) خلف مقدمة السلاح بقليل. ويحدد خط الشد على أساس موقع (H) وموقع نقطة الشد على عمود الشد (F)، الشكل رقم (٦٣,٥)، حيث إن عمود الشد متماسك في الاتجاه الجانبي.



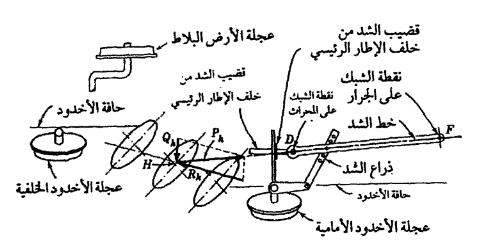
شكل ٦٣,٥ . الشبك الأفقي الموصى به لمحراث قلاب مطرحي مقطور بجرار عريض.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

ويتم الحصول على الشد المثالي عندما يمكن ضبط المسافة بين العجلتين الخلفيتين للجرار بحيث يكون مركز الشد أمام مركز المقاومة الأفقية مباشرة. وفي بعض الحالات لايمكن الحصول على مسافة ضيقة بالقدر المناسب بين العجلتين أو قد يكون غير عملي حتى في حالة وجود عجلة واحدة من العجلتين الخلفيتين للجرار في الأخدود. ومع المحاريث كبيرة الحجم، قد يحدث أن يعمل الجرار في وضع تكون فيه العجلتين الخلفيتين على أرض محروثة، بهدف تقليل كبس التربة الذي قد ينتج عن وجود إحدى العجلتين في الأخدود. وعندما يتعذر الحصول على شد مركزي مستقيم فإنه من المتبع في هذه الحالات أن يقسم تأثير الانحراف كما هو موضح في الشكل رقم (٦٣ , ٥) بحيث يمر خط الشد على يمين مركز الشد بقليل، ولكن ليس بدرجة كافية لإحداث خلل في التوجيه. ولحسن الحظ سوف يعمل المحراث القلاب المطرحي بدرجة مرضية حتى عندما يكون خط الشد على زاوية انحراف كبيرة من خط السير.

الشبك الأفقي للمحاريث القرصية المقطورة. العلاقات بين القوى الأفقية، الشكل رقم (٦٤ , ٥) تختلف إلى حد ما في حالة المحراث القرصي عنها في حالة المحراث القلاب المطرحي، وذلك لأنه لابد من امتصاص كل القوى الجانبية بواسطة العجلات، وأيضًا لأن عضو الشد على المحراث القرصي (DF) في الشكل رقم (٦٤ , ٥) يكون أساسًا عضواً حراً بالنسبة للقوى الأفقية. بينما الخط الأفقي للشد على محراث مطرحي لابد أن يمر خلال نقطة الشبك على الجرار وخلال مركز المقاومة الذي يحدد بخواص المحراث والتربة، وبالتالي فيحدد خط الشد للمحراث القرصي بموقع نقاط الشبك (D) و (F). وموقع مركز المقاومة الأفقية (H) وموقع محصلة القوى الجانبية (Q_h) و (R_h).

لتقسيم القوى الجانبية بالتساوي بين عجلات الأخدود الأمامية والخلفية فإنه يجب أن يمر خط عمل القوة (Q_h) في منتصف المسافة بينهما. وفي معظم المحاريث القرصية، يمكن تقريب هذه الظروف وذلك إذا ضبط الشبك بحيث يمر خط الشد خلال نقطة على يسار الوضع المتوسط لجميع مراكز الأقراص بقليل، (وبالتالي تحدد (H) في الموضع المطلوب). إذا تحركت نقطة الشبك (D) في الشكل رقم (٦٤ , ٥)



شكل ٥,٦٤ . العلاقات بين القوى الأفقية وشبك المحراث القرصي من النوع المقطور . (عن : Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

إلى اليسار على إطار المحراث ، سوف تتحرك كل من (H) و(Q_h) خلف المحراث ، وسوف تتحمل عجلة الأخدود الخلفية العبء الأكبر من القوى الجانبية . وتحرك (D) إلى اليمين (أو (F) إلى اليسار) يضع حمل جانبي أكبر على العجلة الأمامية .

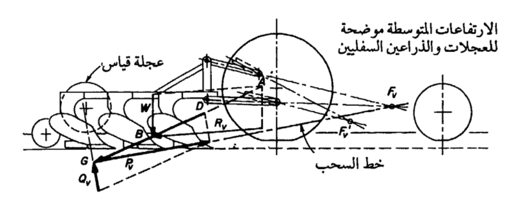
٥,٤,٣ المعدات المعلقة

يوجد نوعان من وصلات الشبك شائعا الاستخدام في الجرارات المستخدمة في الوقت الحالي . وعمليًا فإن كل الشبك بالتعليق الخلفي هو من النوع ذي النقاط الثلاث ، والأذرع المتقاربة . والنوع ذو أذرع الشبك المتوازية يستخدم بكثرة في المعدات ذات التعليق الأمامي مثل العزاقات . وقد حل النوع ذو النقاط الثلاث للشبك محل الشبك بمحور مفرد في التصميمات الجديدة . ويمكن تشغيل أي نوع من هذه الأنواع الثلاثة للشبك بحيث تعمل أذرع الشبك كوصلات حرة في المستويات الرأسية ، أو أن تكون الآلة مدعمة خلال نظام الرفع للجرار (أذرع مقيدة) .

التشغيل الحر للوصلات في النظام الثلاثي للشبك . مع التشغيل الحر للوصلات يمكن التحكم في العمق بواسطة عجلات القياس ، أو أي أسطح

دعم أخرى على الآلة. وبالرغم من أنه يمكن الحصول على التحكم في العمق لمحراث مطرحي معلق عن طريق دعم رأسي من عجلة الأخدود الخلفية ومؤخرة المسند الخلفي. إن الطريقة الأكثر شيوعًا هي استخدام عجلة حرة تسير على الأرض غير المحروثة لضبط العمق عند التشغيل الحر للوصلات.

العلاقات بين القوى الرأسية للتشغيل الحر للوصلات مع محراث مطرحي له عجلة ضبط عمق موضحة في الشكل رقم (٥,٦٥). وفي التشغيل الحر للوصلات، فإن مقدار التقارب بين الأذرع في المستوى الرأسي يعطي نقطة شبك رأسية أو مركز لحظي للدوران كما هو موضح عند (F_v)، ويمكن تغيير موقع (F_v) بتعديل ترتيب الأذرع، وهي تتحرك تلقائيًا عند رفع أو خفض الآلة. وموضع الخط المتقطع للأذرع الموضح في الشكل رقم (٥,٦٥) يبين كيف أن (F_v) تكون منخفضة عن (F_v) وأبعد للخلف عندما تدخل الآلة في التربة. ويزيد هذا التحرك من مقدرة اختراق الأسلحة للتربة التي لها أسطح مناسبة للدعم (كما في حالة المحراث القلاب المطرحي).



شكل ٥,٦٥. العلاقات بين القوى الرأسية لثلاثة أذرع شبك عندما تعمل كنظام حر للوصلات.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

تحليل القوى يشبه تمامًا حالة المعدات المقطورة أحادية المحور فيما عدا أن خط الشد (P_v) لابد أن يمر خلال نقطة الشبك غير الحقيقية (F_v) بدلاً من مروره خلال نقطة الشبك الحقيقية على قضيب الشد. وفي هذا المثال يفترض أن يكون كل الدعم

الرأسي على عجلة قياس ضبط العمق. وعلى ذلك يتم تحديد خط تأثير للقوة (Q_v). ويمثل ميل الخط معامل مقاومة الدوران. ويتم إيجاد محصلة (W) و(R_v) أولاً في المركبة (AB)، ثم يحدد موقع (G) بتقاطع (AB) و(Q_v) وبعد ذلك يمر خط عمل القوة (P_v) خلال (G) و(F_v).

رفع (F_v)، بتعديل الوصلات، سوف يؤدي إلى خفض (Q_v) ويزيد الحمل على العجل الخلفي للجرار. ومع ذلك، يجب ألا تنخفض (Q_v) إلى مستوى تصبح بعده الآلة غير متزنة نتيجة للتغير اللحظي في (R_v). تؤدي زيادة طول المحراث بإضافة أبدان أكثر إلى تحريك كل من (W) و(R_v) و(Q_v) و(G) إلى أماكن أبعد إلى الخلف. وحينئذ تصبح القوة (P_v) أقل ميلاً، ولكن أعلى من سطح التربة عند عجلات الجرار.

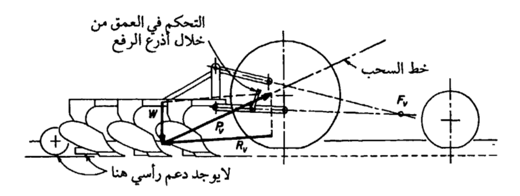
التشغيل الحر للوصلات مع ضبط العمق يعطي تجانسًا أكثر في العمق مقارنة بالتحكم التلقائي في الوضع أو التحكم التلقائي في قوة الشد، وذلك عندما يكون سطح التربة غير منتظمًا، وكذلك عندما تختلف مقاومة التربة اختلافًا كبيراً. وبالأخص في حالة استخدام الأنواع الكبيرة من المحاريث القلابة المطرحية المعلقة. وفي بعض الحالات يفضل استخدام عجلات ضبط العمق عن أي نظام آخر في التربة الخفيفة عندما تكون قوى الشد بسيطة نسبيًا. وتحتوي العزاقات العريضة والحفارات عادة على عجلة ضبط العمق لتقليل الاختلافات في العمق إلى أقل حد ممكن على طول عرض الآلة.

التشغيل المقيد للوصلات في نظام الشبك ثلاثي النقاط. في التشغيل المقيد للوصلات، تحصل الآلة على كل أو غالبية الدعم الرأسي لها من الجرار، وتكون أذرع الشبك حرة فقط عندما تدخل الأسلحة في التربة. وعلى سبيل المثال: عندما يبلغ المحراث القلاب المطرحي عمق التشغيل المحدد له فإنه يثبت على ذلك بواسطة الجهاز الهيدرولي. ويجب أن يكون لمسنده وعجلة الأخدود الخلفية خلوص فوق قاع الأخدود يسمح بتعمق المحراث عندما يتطلب من أجهزة التحكم زيادة عمق الحرث.

وحيث إن الآلة لاتحصل على دعم من التربة، تكون (P_v) معادلة تقريبًا للقوى

(W) و(R_v) كما هو موضح في الشكل رقم (٥,٦٦). وتكون أذرع الرفع في حالة شد وتولد الآلة عزم انحناء على أجزاء من الأذرع السفلية والواقعة خلف وصلات الرفع.

مع التشغيل المقيد للوصلات، وعندما تصبح الآلة على العمق المحدد للتشغيل فإن تأثيرها على الجرار يكون مستقلاً عن طريق وضع أذرع الشبك. وتتمثل الأهمية الوحيدة لمركز الدوران غير الحقيقي (F_v) في أنه مع أنظمة الرفع أحادية الفعل (وهي الطريقة العادية للأنظمة المتكاملة)، فإن خط الشد لايمكن أن يمر تحت هذه النقطة. وعلى أية حال، فعندما تدخل الأسلحة في التربة فإن موقع المركز غير الحقيقي للدوران يؤثر على خطوة السلاح تماماً كما هو الحال في نظام التشغيل الحر للوصلات.



شكل ٥,٦٦. العلاقات بين القوى الرأسية لآلة معلقة عندما تكون مدعومة بواسطة وصلات مقيدة.

(عن: **Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978**)

يزيد التشغيل مع الوصلات المقيدة بدلاً من الوصلات الحرة من الحمل الرأسي على العجلات الخلفية للجرار وبالتالي يوفر مقدرة أكبر للشد. وذلك لأن قوى الدعم التي كانت تؤثر على وحدات القياس في نظام الوصلات الحرة تنقل إلى العجلات الخلفية للجرار عندما تقيد الوصلات، وكذلك نظراً لأن ارتفاع موقع (P_v) عند العجل الخلفي يزيد من الحمل المنقول من العجل الأمامي إلى العجل الخلفي.

تمارين على الفصل الخامس

١ , ٥ عينة من التربة محتواها الرطوبي ٣٠٪، وكثافتها ١,٨ جم/سم[٣] والوزن النوعي (للمادة الصلبة) ٢,٧ . اوجد نسبة الفراغات ودرجة التشبع.

٢ , ٥ عينة تربة مدمجة وزنها ١٩٠٣ جم وحجمها ٩٣٠ سم[٣]. المحتوى الرطوبي للعينة ١٠٪. الوزن النوعي للمادة الصلبة ٢,٧ . اوجد الكثافة على أساس رطب، والكثافة على أساس جاف، ونسبة الفراغات ودرجة التشبع.

٣ , ٥ عينة تربة محتواها الرطوبي ٢٥٪ وكثافتها على أساس جاف هي ١,١ جم/ سم[٣]. (أ) اوجد نسبة الفراغات والكثافة على أساس رطب. (ب) إذا لم تتغير درجة اندماج التربة ولكن تغير المحتوى الرطوبي من ٢٥ إلى ٥٠٪، اوجد نسبة الفراغات والكثافة على أساس رطب.

٤ , ٥ خضعت عينة تربة رملية غير متماسكة لاختبار القص المباشر تحت حمل عمودي قدره ١٠٠ ك. بسكال. انهارت العينة عند إجهاد قص مقداره ٦ ك. بسكال. ارسم الإجهادات على منحنى موهر التخطيطي واوجد قيمة الاحتكاك الداخلي. عند أي قيمة تتوقع أن تنهار عندها العينة إذا كان الإجهاد العمودي ٢٥٠ ك. بسكال.

٥ , ٥ في الاختبار ثلاثي المحاور المدمج غير المصروف، تم تحميل عينتين من التربة حتى الانهيار بعد الدمج وتحت ضغط شامل ٢٠٠، ٤٠٠ ك. بسكال، والنتائج موضحة في الجدول التالي:

رقم العينة	σ_3 ك.بسكال	σ' ك.بسكال	u_b ك.بسكال
١	٢٠٠	٣٥٠	١٤٠
٢	٤٠٠	٧٠٠	٢٨٠

احسب (أ) قيم كل من (c) و(ϕ) للإجهاد الكلي، (ب) قيم كل من (c) و(ϕ) للإجهاد الفعال، (جـ) الإجهاد الأقصى للقص لكل من العينتين، (د) إجهاد القص والإجهاد العمودي على مستويات الانهيار لكل من الحالتين.

٦, ٥ خضعت تربة غير متماسكة زاوية احتكاكها الداخلي ٣٠° لضغط دامج قدره ١٥٠ ك. بسكال. عند أي قيمة من الإجهادات الرئيسية العظمى سوف تنهار العينة؟

٧, ٥ تم أداء اختبارات ثلاثية المحاور مدمجة غير مصروفة على عينتين من التربة. تمثل القيم التالية الإجهادات وضغط الفراغات البينية عند الانهيار:

رقم العينة	$\bar{\sigma}$ ك.بسكال	σ_3 ك.بسكال	u_a ك.بسكال
١	٤٠	١٠٠	٣٠
٢	٨٠	٢٠٠	٦٠

اوجد التعبير الرياضي لإجهاد القص الفعال.

٨, ٥ استنتج تعبيراً رياضياً للقوة الرأسية الكلية (V) المؤثرة على سلاح حراثة مائل. اتبع نفس الطريقة المستخدمة داخل المتن لاستنتاج التعبير الرياضي الخاص بالقوة الأفقية.

٩, ٥ اوجد قوة الشد الأفقية المؤثرة على مستوى سلاح حراثة مائل بزاوية ٤٥°، يعمل على عمق ٢٥ سم في تربة غير متماسكة. السرعة الأمامية للسلاح ٥ كم/س. كثافة التربة ١,٢ جم/سم^{3} وزاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ) ٣٧°. طول السلاح ١٠ سم، وعرضه ٢٥ سم، وقيمة احتكاك التربة -المعدن ٠,٣. اهمل كلاً من الالتصاق، ومقاومة القطع، وتأثيرات دعائم السلاح.

١٠, ٥ كرر التمرين رقم (٩, ٥) ولكن غير عمق السلاح من ١٠ إلى ٢٥ سم بفترات كل ٥ سم. ارسم قوة الشد مقابل عمق السلاح. (ملاحظة: يوصى باستخدام الناشر البياني).

١١, ٥ كرر التمرين رقم (٩, ٥) ولكن غير سرعة السلاح من ١ إلى ١٠كم/س بفترات كل ١ كم/س. ارسم قوة الشد مقابل سرعة السلاح (ملاحظة: يوصى

باستخدام الناشر البياني).

١٢ , ٥ كرر التمرين رقم (٩ , ٥) ولكن غير معامل احتكاك التربة - المعدن من ١ , ٠ إلى ٥ , ٠ بفترات كل ٠٥ , ٠ . ارسم قوة الشد مقابل معامل الاحتكاك (ملاحظة: يوصى باستخدام الناشر البياني).

١٣ , ٥ إذا علم أن اتجاه خط السحب في إحدى المعدات يميل على الأفقي بزاوية ١٥ ° ويقع أعلى المستوى الرأسي وفي اتجاه يصنع زاوية مقدارها ١٠° مع اتجاه السير. احسب: (أ) قوة الشد المطلوبة وكذلك القوى الجانبية إذا كانت قوة السحب ١١ كيلونيوتن، (ب) ماهي القدرة اللازمة للشد عند سرعة ٥ , ٥ كم/ س؟

١٤ , ٥ بالرجوع إلى الشكل رقم (٥٨ , ٥) في المتن، اوجد: (أ) نسبة الزيادة في قوة الشد لبدن محراث إذا كانت قوة السحب عند زاوية ١٠° من يسار اتجاه الحركة. افرض أن (R_h) عند زاوية ١٥° من اليمين ومعامل الاحتكاك بين التربة- المعدن ٣ , ٠، (ب) نسبة الزيادة في القوة العمودية على المسند (ملاحظة: يفضل الحل البياني).

١٥ , ٥ إذا كانت قوة الشد الكلية لمحراث قلاب مطرحي ذي ٤ أبدان، عرض كل منها ٤١ سم عندما يحرث على عمق ١٨ سم عند سرعة ٦ كم/ س هي ١٥ كيلونيوتن. (أ) احسب قوة الشد النوعية، (ب) ماهي متطلبات القدرة الفعلية؟

١٦ , ٥ تحتوي المجموعة الواحدة في مشط قرصي منحرف على ١٣ قرصًا كل منها بقطر ٦١ سم وعلى مسافات ٢٤ سم. إذا كانت الكتلة الكلية ١٤٠٠ كجم. وفي حالة التشغيل: (V_f) تساوي ٨ , ٧ كيلونيوتن، (V_r) تساوي ٣ , ٥ كيلونيوتن. وزاوية القرص ١٦° للمجموعة الأمامية و٢٢° للمجموعة الخلفية. معتمداً على الشكلين رقمي (٥٨ , ٥) و(٦١ , ٥) فإن النسبة المقدرة (L/V) تكون ٩ , ٠. للمجموعة الأمامية و٢ , ١ للمجموعة الخلفية. والنسبة (S/V) تساوي ٧ , ٠. للمجموعة الأمامية و ١ , ١ للمجموعة الخلفية. احسب: (أ) قوة الشد الأفقية، (ب) القوة الجانبية، قوة الشد الأفقية لكل مجموعة كتلة (نيوتن/ كجم).

١٧ , ٥ مشط قرصي منحرف ناحية اليمين يعمل على زاوية قرص ١٥°، ٢١° على الترتيب للمجموعة الأمامية والمجموعة الخلفية. ويقع مركز المجموعتين على مسافة ٤٥ , ٢، ٢٥ , ٤ م خلف الخط الذي يمر بنقطة الشبك وعلى عمود الشد في الجرار.

ومركبات ردود فعل التربة الأفقية هي: (L_f) تساوي ١,٣ كيلونيوتن، (S_f) تساوي ٢,٦٥ كيلونيوتن، (L_r) تساوي ٣,٣٥ كيلونيوتن، (S_r) تساوي ٣,٨ كيلونيوتن. احسب (أ) الزاوية الأفقية للشد، (ب) الشد الأفقي (P_h) و(جـ) مقدار انحراف مركز القطع بالنسبة لنقطة الشبك.

٥,١٨ افترض أن (P_v) تساوي ٩,٩ كيلونيوتن في الشكل رقم (٥,٦٥). اوجد القوة في الذراع العلوي والقوة الكلية في الذراعين السفليين، مبينًا إذا كانت شدًا أو ضغطًا. خذ الأبعاد والزوايا من الشكل بالكتاب وحل بالطرق التخطيطية. احسب أيضًا قوة الشد.



الفصل السادس

زراعة المحاصيل
Crop Planting

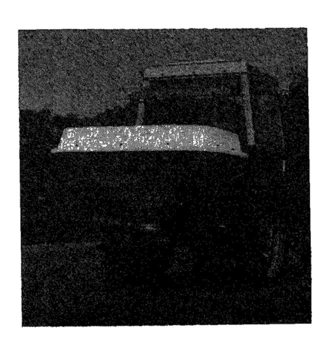
● الطرق والمعدات ● العمليات الوظيفية ● أداء آليات تلقيم البذور ● أداء آليات نقل البذرة ● أداء آليات فتح الأخدود والتغطية ● تقييم أداء آلة الزراعة وآلة الشتل ● تمارين على الفصل السادس

مقدمة

يبدأ المحصول الجديد في النمو بمجرد زراعة البذرة أو الشتلات. وبعد الزراعة، تبقى البذور حية بالاعتماد على الطاقة المخزَّنة داخلها وذلك حتى حدوث الإنبات واختراق البادرة لسطح التربة. وعادة لاتكون لكل البذور القدرة على البقاء حية حتى حدوث الإنبات وظهور البادرة، ولهذا يجب أن يكون عدد البذور المزروعة لوحدة المساحة أكثر من الكثافة النهائية المطلوبة للنباتات. وتشمل العوامل الأكثر أهمية التي تؤثر على الإنبات وظهور البادرات: حيوية البذرة (نسبة الإنبات تحت ظروف معملية مُتحكم بها)، ودرجة حرارة التربة، والرطوبة والهواء المتاحان للبذور، وقوة التربة ومقاومتها لاختراق البادرات. ونظراً لكون الشتلات ظاهرة فوق سطح التربة، فإن بقائها حية ومعدل نموها يعتمدان أيضًا على رطوبة التربة ودرجة الحرارة. ويمكن أن يكون لآلة الزراعة تأثير قوي على معدل الإنبات وظهور البادرات، وذلك من خلال التحكم في كل من عمق الزراعة وكبس التربة حول البذور أو جذور الشتلات. إضافة إلى ذلك يجب أن تقوم آلة الزراعة بتلقيم البذور بمعدل مناسب، وفي بعض الأحوال، يجب أن تتحكم الآلة في وضع البذور أفقيًا بنمط مرغوب فيه.

٦,١ الطرق والمعدات

يمكن تمييز ثلاث طرق مختلفة للزراعة حسب نمط وضع البذور أفقيًا. الزراعة بالنثر، و هي البعثرة العشوائية للبذور فوق سطح التربة. تسطير البذور، أي وضعها عشوائيًا في أخاديد تتم تغطيتها بعد ذلك، ولهذا تظهر البادرات في صفوف. وفي الزراعة الدقيقة تزرع البذور في صفوف وتكون المسافة بين البذور في الصف منتظمة. والطريقة الرابعة للزراعة هي نقل شتلات النبات للحقل. وقد ابتكرت تقنيات وآلات لتوافق كل طريقة من طرق الزراعة.

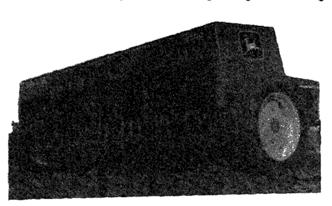


شكل ٦,١. آلة نثر البذور بالطرد المركزي. (عن: Vicon Corporation)

٦,١,١ الزراعة بالنثر

يبين الشكل رقم (٦,١) آلة لنثر البذور بالطرد المركزي. حيث يتم تلقيم البذور من خزان البذور خلال فتحة متغيرة. ويوجد مُقلِّب فوق الفتحة لمنع البذور من تكوين جسر فوق البوابة وكذلك لضمان تغذية مستمرة. تُستخدم في بعض الأحيان أسطوانة مموّجة لتلقيم البذور. تسقط البذور الملقمة على قرص مغزلي مما

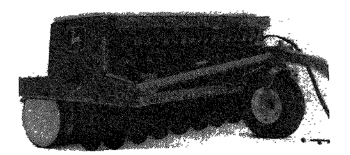
يكسبها تسارعًا ويقذفها، عادةً أفقيًا. ويعتمد عرض التغطية على حجم وشكل وكثافة البذور. وقد يستخدم قرصان دواران مغزليان متعاكسان لزيادة عرض التغطية. ويتم التحكم في معدل البذر بمقدار فتحة البوابة، سرعة السير وعرض التغطية. ولآلات نشر البذور بالطرد المركزي المرونة في إمكانية استخدامها لنشر البذور، السماد الجاف أو مبيدات الحشرات أو أي مواد حبيبية أخرى. بعد نثر البذور، قد تجرى عملية حراثة ثانوية لتغطيتها بالتربة.



شكل ٢,٦. آلة تسطير البذور. (عن: .Deere and Co)

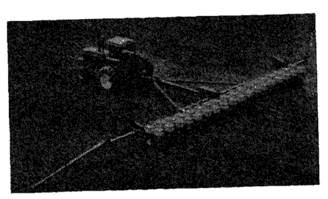
٢,١,٦ تسطير البذور

يوضح الشكل رقم (٢,٦) آلة لتسطير البذور. وعلى نحو نموذجي ولكل صف، تُلقم البذور من خزان البذور بواسطة أسطوانة مموَّجة تدار عن طريق عجلة الأرض حيث تمر البذور على بوابة قابلة للضبط تتحكم في معدل البذر. ثم تدخل البذور لأنبوب وتسقط بتأثير الجاذبية إلى أخدود تم فتحه بواسطة قرص. تتراوح المسافات البينية النموذجية بين الصفوف من ١٥٠ إلى ٤٠٠ م. والطريقة الشائعة لتغطية البذور هي سحب سلسلة صغيرة خلف كل فجاج. يعتبر الشكل رقم (٢,٦) مثالاً لآلة التسطير ذات العجلة، حيث يكون وزنها محمولاً على عجلات النقل. وفي آلة التسطير الضاغطة الموضحة في الشكل رقم (٣,٦) يكون معظم وزن الآلة محمولاً على العجلات الضاغطة التي تتبع كل صف. ولذلك فإن آلات التسطير الضاغطة تعطي تربة أكثر تماسكًا حول البذور مقارنة بآلات التسطير ذات العجلة.



شكل ٦,٣. آلة تسطير ضاغطة. (عن: Deere and Co.)

ويستخدم المصطلح "التسطير السائل" لوصف تقنية الزراعة التي تزرع فيها البذور المُنبَّتة باستخدام مادة واقية هلامية القوام. يمكن ضخ مخلوط البذور والمادة الهلامية القوام خلال خرطوم لتوصيلها للأخدود وذلك إذا لم تكن المسافة بين البذور ذات أهمية. ولزيادة انتظامية وضع البذور، سجل (Shaw, 1985) براءة اختراع لجهاز يقوم بتلقيم البذور مفردة من السائل الهلامي القوام أو المزيج المعلق.



شكل ٦,٤. آلة زراعة دقيقة. (عن: Deere and Co.)

٦,١,٣ الزراعة الدقيقة

تعطي آلات الزراعة الدقيقة وضعًا دقيقًا للبذور المفردة على مسافات بينية متساوية في الصفوف، وعادة تكون المسافات بين الصفوف عريضة بدرجة كافية للسماح بإجراء عملية العزيق، الشكل رقم (٦,٤). تتوفر آلات الزراعة الدقيقة

بأشكال عديدة، ولكنها تشتمل دائمًا على أربعة وظائف. الوظائف هي: فتح أخدود بعمق مُتحكم به، و تلقيم البذور داخل الأخدود على مسافات بينية منتظمة، وتغطية الأخدود، وكبس التربة حول البذور. وفي بعض الآلات يقوم زوج من العجلات المائلة بإكمال كل من تغطية البذور وكبس التربة حولها. حتى منتصف الستينات، كانت معظم آلات الزراعة الدقيقة تحتوي على أقراص لتلقيم البذور. وتوجد جيوب على محيط الأقراص تم تحديد حجمها لتناسب أبعاد البذرة، بحيث لايدخل كل جيب إلا بذرة واحدة فقط. وكلما مر جيب على أنبوب البذور، يقوم زنبرك بدفع البذرة داخل الأنبوب. الأقراص سهلة الاستبدال، ويحتفظ المزارعون بمجاميع منها لتناسب المقاسات المختلفة للبذور المزمع زراعتها. طورت آلات زراعة "بدون أقراص" في أواخر الستينات وتتوفر حاليًا آليات عديدة لتلقيم البذور. ويستخدم المصطلح "الزراعة في جور" لوصف الزراعة التي يتم فيها وضع البذور في جور بالأرض حيث يتم عملها بواسطة عجلة مجرفية وذلك بدلاً من الزراعة في أخاديد. وعند زراعة محاصيل الخضر في تربة مغطاة بشرائح بلاستيكية، تكون الزراعة في جور مفيدة خلال الغطاء البلاستيكي.

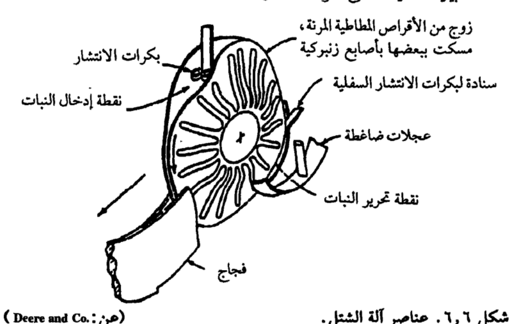
٦,١,٤ الشتل

قد تُزرع بذور عدد من المحاصيل كالكرنب، والخس، والأرز، والفراولة، والبطاطا الحلوة، والتبغ والطماطم، مباشرة في مراقد خاصة، ومن ثم تُنقل إلى الحقول. وتُزرع الأشجار المزروعة لأغراض تجارية دائمًا بطريقة الشتل. لم تتم مكننة عملية الشتل بالكامل، ففي آلة الزراعة بالشتل المبينة في الشكل رقم (٦,٥) يمكن زيادة المعدل الذي يستطيع به العمال إجراء عملية الشتل. وتحتوي آلات الزراعة بالشتل على مقعد أو أكثر ليجلس عليها العمال بشكل مريح للقيام بعملية الشتل. وتحتوي آلة الشتل كذلك على خزان للشتلات، ووسائل لفتح الأخدود، ووسائل استقبال الشتلات من العامل ووضعها في الأخدود، انظر الشكل رقم (٦,٦)، ووسائل تغطية الأخدود وكبس التربة حول جذور الشتلات. وتستخدم عادة الفجاجات الطولية لفتح الأخدود، بينما يُستخدم زوج من العجلات الضاغطة



شكل ٦,٥ . شتالة. (عن: Deere and Co.)

حيث يكون الجزء العلوي لهما مائلاً للخارج لإكمال تغطية الأخدود وكبس التربة. وغالبًا ماتحتوي الآلة على خزان للماء وآلية مناسبة لضخه لري الشتلات بعد زراعتها، وقد تزوَّد الآلة بجهاز إشارات لمساعدة العمال على وضع الشتلات على مسافات بينية صحيحة على طول الأخدود.



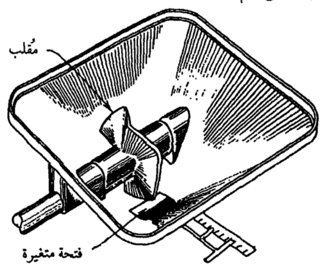
شكل ٦,٦ . عناصر آلة الشتل. (عن: Deere and Co.)

٦,٢ العمليات الوظيفية

٦,٢,١ تلقيم البذور

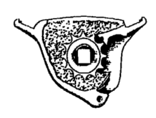
تُلقم البذور على هيئتين؛ الأولى: معدل التلقيم، وهو يرجع إلى عدد البذور التي حُررت من خزان البذور في وحدة الزمن. ومعدل التلقيم هام لأي آلة زراعة للتأكد من أنه سوف يتم الحصول على الكثافة النهائية المرغوبة للنباتات في الحقل. والأخرى هي كيفية التلقيم، حيث يجب تلقيم البذور مفردة في آلات الزراعة الدقيقة للسماح بوضع البذور على مسافات بينية منتظمة في كل صف.

آليات تلقيم البذور. كان النظام القديم السائد لتلقيم البذور هو نظام الفتحة المتغيرة ولايزال هذا النظام البسيط مستخدمًا. ويُنظم معدل التدفق الحجمي للبذور بتغيير مقاس الفتحة. يستخدم مقلِّب فوق الفتحة لمنع تكوُّن جسور اعتراضية من البذور، انظر الشكل رقم (٦,٧).



شكل ٦,٧. تلقيم البذور بالفتحة المتغيرة.

النظام الأكثر شيوعًا لتلقيم البذور في آلات التسطير هو الأسطوانة المموَّجة، الشكل رقم (٦,٨). حيث توضع مجموعة أجزاء الأسطوانة المموَّجة عند قاع خزان البذور حتى تتمكن البذور من التدفق خلال الفتحات بواسطة الجاذبية. وتعطي




شكل ٦,٨. تلقيم البذور بواسطة الأسطوانة المموَّجة.

الأسطوانة المموَّجة تلقيمًا موجب الإزاحة ظاهريًا. أو بمعنى آخر، عندما تدور الأسطوانة المموَّجة، تُحمل البذور التي بداخل الفتحات المموَّجة إلى بوابة قابلة للضبط. تُضبط فتحات البوابة لتناسب مقاس البذرة. ويمكن تحريك الأسطوانة المموَّجة جانبيًا للتحكم في معدل التدفق الحجمي للبذور. ويحدث أقصى معدل للتدفق عندما تغطي العجلة المموَّجة العرض الكلي للبوابة، بينما يتوقف معدل التدفق عندما يقوم القاطع غير الدوار بتغطية عرض البوابة بالكامل. ويتغير معدل التدفق أيضًا بتغير سرعة دوران الأسطوانة المموَّجة.

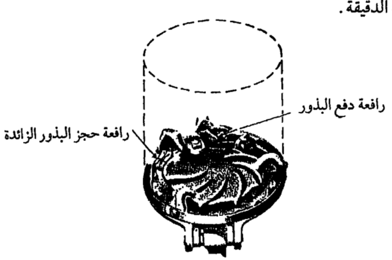



شكل ٦,٩. تلقيم البذور بالمجرى الداخلي المزدوج.

يُستخدم جهاز تلقيم البذور ذو المجرى الداخلي المزدوج مع بعض آلات التسطير، الشكل رقم (٦,٩). وكما في الأسطوانة المموَّجة، فإن المجرى الداخلي يعطي تلقيمًا موجب الإزاحة ظاهريًا ولكن تتشكل المسافات بين البذور بواسطة زعانف موجودة على الجانب الداخلي للعجلة. وسُميت بالمجرى الداخلي المزدوج بسبب وضع عجلتين بحيث يقابل ظهر إحداهما ظهر الأخرى. إحدى العجلتين

ذات فراغات صغيرة للبذور وتستخدم للبذور الصغيرة، بينما يستخدم الجانب ذو الفراغات الكبيرة للبذور الكبيرة. توضع وحدات المجرى الداخلي المزدوج عند قاع خزان البذور بحيث تستطيع البذور أن تتدفق خلالها بواسطة الجاذبية. حيث يستخدم جانب واحد فقط من المجرى الداخلي المزدوج في نفس الوقت، ويُستخدم غطاء تغذية قابل للتحريك لمنع تدفق البذور إلى الجانب غير المستخدم. وتوجد بوابة تغذية قابلة للضبط لكل جانب من وحدة التلقيم. ويتم التحكم في معدل التغذية بتنظيم المسافة بين حافة البوابة والزعانف الداخلية.

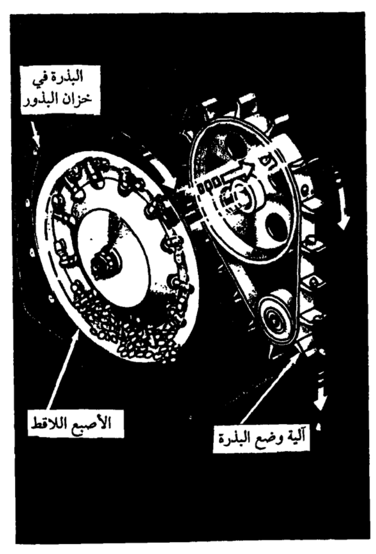
تعتمد الآليات التي سبق شرحها في هذا الجزء في تلقيمها للبذور على الحجم. بينما تقوم كافة الآليات الباقية التي سيتم مناقشتها بتلقيم البذور مفردة وذلك للزراعة الدقيقة.



شكل ٦,١٠. التلقيم بواسطة أقراص تغذية البذور بالجاذبية.

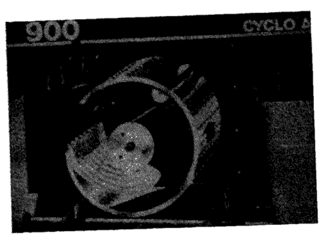
حتى منتصف الستينات، كانت آلة الزراعة ذات القرص الأفقي للبذور، الشكل رقم (٦,١٠) ، هي آلة الزراعة الدقيقة الأكثر شيوعًا. تحتوي أقراص البذور على خلايا على محيطها صممت لتتلقى بذوراً مفردة. فكلما دار القرص في قاع خزان البذور، تدخل البذور إلى خلاياه، وتُزال أي بذور زائدة عن طريق رافعة ثابتة، وبمرور كل خلية فوق أنبوب البذور، تقوم رافعة مُحملة زنبركيًا بدفع البذرة داخل أنبوب الإسقاط. وتكون رافعة إزالة البذور الزائدة إما فرشاة أو مكشطة

مُحملة زنبركيًا. ومن الضروري أن تكون البذور المستخدمة منتظمة الشكل وذلك لضمان دخول بذرة واحدة فقط إلى كل خلية. أما البذور التي تكون بطبيعتها غير منتظمة الشكل، مثل حبوب الذرة، فيجب تدريجها إلى مجاميع منتظمة قبل زراعتها. وتتوفر أقراص بذور بأحجام خلايا مختلفة لتوافق المقاسات والأشكال المختلفة للبذور. ولا تزال آلات الزراعة ذات القرص متوفرة بشكل تجاري، ولكنها ليست سائدة في الأسواق.



شكل ٦,١١. تلقيم البذور بواسطة الأصبع اللاقط. (عن: Deere and Co.)

في عـام ١٩٦٨م أدخلت آلات الزراعـة بجـهـاز التلقيم ذي الأصـبع اللاقط والتي كـانت تمثل بداية ظهـور آلات الزراعـة اللاقـرصـيـة (Anonymous, 1968) . آلـة الـزراعـة ذات الأصبع اللاقط مناسبة جداً لزراعة حـبوب الذرة. في وحدة التلقيم المبينة في الشكل رقم (٦,١١)، يوجد ١٢ أصبعًا محملة زنبركيًا ومركبة على قرص رأسي يدور داخل خزان البذور. تتحرك الأصابع بمسارها الدائري، وتُركب الأصابع فـوق قرص ثابت متـحـد المركز مع القرص الدوار. يقوم كل أصبع عند مروره بقـاع خزان البـذور بالتقـاط بذرة واحدة أو أكثر. وباستمرار الحركة، يمر الأصبع فوق فـجوة (أو حـز) على القـرص الثابت، مـسـببًا مسك بذرة واحدة فـقط، بينما تسقط بقـيـة البذور إلى خزان البذور. وباستمرار الحركة، يمر الأصبع عبر فتحة بالقرص الثابت حيث تُقذف البـذرة إلى سير وضع البذور لنقلها إلى أنبوب البذور. تُدار وحدة تلقيم البـذور بالكامل عن طريق عـجلة الأرض للتـحكم في المسـافـة بين البـذور في الصفوف.



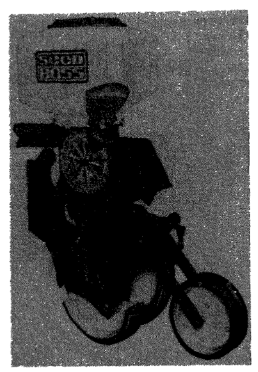
شكل ٦,١٢ . أسطوانة البذور بآلة الزراعة الهوائية. (عن: Case-IH)

الابتكار التـالي في آلات الزراعـة اللاقـرصـيـة هو آلات الزراعـة الهـوائيـة (Anonymous, 1971). حـيث يتم توليـد ضـغط داخل أسطوانة البـذور التي تُدار عن طريق عـجلة الأرض، الشكل رقم (٦,١٢)، مـقـداره حـوالي ٤ كـيلوبسكال عن طريق مـروحـة تُدار بواسطة عـمـود مـأخذ القـدرة للجـرار. تُقدر السرعـة العـمليـة

القصوى للأسطوانة بحوالي ٣٥ لفة/ د. تتدفق البذور بالجاذبية من خزان مركزي للحفاظ علي مخزون ضحل للبذور في قاع الأسطوانة. ويمكن تصميم كل أسطوانة لخدمة أربعة، أو ستة أو ثمانية صفوف، ويعتمد ذلك على عدد صفوف الفتحات التي تم تجهيزها. والأسطوانة المبينة في الشكل رقم (٦,١٢) لها ثمانية صفوف من الفتحات؛ ولهذا فهي تُلقم البذور لثمانية صفوف في الحقل. وتنتهي كل فتحة بجيب بذور عند الوجه الداخلي للأسطوانة. بدوران الأسطوانة، يتسرب الهواء إلى الخارج خلال الفتحات، وعندما تدخل البذور إلى الجيوب، يعمل فرق الضغط على مسك كل بذرة في جيبها حتى تدور الأسطوانة للوضع الذي تصبح فيه البذرة قريبة جداً من أنبوب البذور. ويقوم صف من العجلات الخارجية مركبة بالقرب من أنابيب البذور بسد الفتحات لحظيًا، مما يعمل على إزالة فرق الضغط، وبالتالي السماح للبذور بالسقوط داخل أنابيب البذور. تحمل البذور بواسطة الهواء المتسرب خلال أنابيب البذور إلى وحدات الزراعة ويسقطهن في الصفوف. المحاصيل التي يمكن زراعتها بآلة الزراعة الهوائية تشتمل على: الفاصوليا، الذرة، القطن والذرة السكرية. أسطوانات البذور سهلة التغيير، ويتم تغييرها لتناسب البذور التي تتم زراعتها. وتمتاز آلة الزراعة الهوائية بسرعة ملء خزانها بالبذور، حيث إن لها خزانًا واحدًا فقط.

تتشابه آلة الزراعة ذات قرص التلقيم بالضغط، المبينة في الشكل رقم (٦,١٣) مع آلة الزراعة الهوائية من حيث إن كلتيهما تستخدمان الضغط الموجب بمنطقة مخزون البذور وذلك لمسك البذور في جيوب قرص البذور الدوار. وعلى خلاف آلة الزراعة الهوائية فإن لآلة الزراعة ذات قرص التلقيم بالضغط مكانًا منفصلاً للتخزين الضحل للبذور وقرصًا لكل صف. تنتقل البذور من الخزان إلى وحدة التلقيم بالجاذبية، حيث يقوم فرق الضغط بمسك البذور في كل خلية. وباقتراب كل خلية من أنبوب الإسقاط، تقوم فرشاة ناعمة بقطع تيار الهواء عن الخلية، ومن ثم تسقط البذرة داخل أنبوب البذور بفعل الجاذبية. وتختلف عن آلة الزراعة الهوائية في أن أنابيب البذور لا تمثل قناة لتسرب الهواء. وكما في كل وحدات التلقيم الا نيق، يجب أن يدار قرص البذور عن طريق عجلة الأرض. و يمكن

استبدال أقراص البذور وهي متوفرة للذرة، وفول الصويا، والفاصوليا الصالحة للاستهلاك الآدمي، و بذور القطن، وبذور بنجر السكر الكروية أو المُفصصّة، وتباع الشمس و الذرة السكرية.

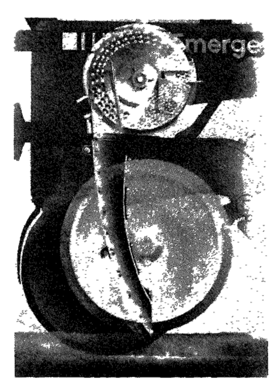


شكل ٦,١٣. قرص تلقيم البذور بالضغط.

(عن: White Farm Equipment Co.)

يتشابه قرص التلقيم بالتفريغ المبين في الشكل رقم (٦,١٤) مع قرص التلقيم بالضغط، فيما عدا أنه يتم توليد فرق الضغط بعمل تفريغ على جانب قرص البذور المعاكس للبذور. وتنتقل البذور من خزان البذور إلى مكان التخزين الضحل لها، حيث يتم إيجاد تفريغ بواسطة مروحة مما يؤدي إلى مسك البذور بخلاياها على قرص البذور الدوار. ويتم سد التفريغ عندما تصل الخلايا إلى نقطة فوق أنبوب البذور فتسقط البذور داخل الأنبوب بفعل الجاذبية. حيث استخدم تفريغ مقداره ١٥ كيلوبسكال لمسك البذور في آلة الزراعة ذات قرص التفريغ والمُصممة بواسطة (Giannini et al., 1967). في آلات الزراعة ذات قرص التفريغ المتوفرة بشكل تجاري،

تتوفر أقراص بذور للاستخدام مع الفاصوليا الصالحة للاستهلاك الآدمي، وفول الصويا، والذرة، وبذور القطن، والفول السوداني، والذرة السكرية، وبنجر السكر وتباع الشمس.



شكل ٦,١٤. قرص تلقيم البذور بالتفريغ. (عن: Deere and Co.)

نظرية تلقيم البذور. تصنيفا آليات تلقيم البذور هما: تلقيم حسب الحجم، و تلقيم بذور مفردة. عند الزراعة باستخدام التلقيم الحجمي، يمكن التعبير عن معدل التطبيق بعدد البذور لكل هتكار أو بكتلة البذور المزروعة، كجم/ هـ. يمكن حساب معدل التطبيق باستخدام المعادلة التالية:

$$R_s = \frac{10000\ Q\ \rho_s}{w\ v} \qquad (٦,١)$$

حيث:

R_s = معدل البذار، كجم/ هـ [بذرة/ هـ]

Q = معدل تدفق البذور من وحدة التلقيم، لتر/ ث

ρ_s = كثافة البذور، كجم/ لتر [بذرة/ لتر]

w = عرض التغطية لآلة الزراعة، م

v = سرعة سير آلة الزراعة، م/ ث.

إنه من غير العملي حساب عدد البذور الصغيرة جدًا لوحدة الحجم، ولهذا تُعطى معدلات البذار في هذه الحالة بالكيلوجرام لكل هكتار. وفي حالة البذور الكبيرة، يمكن إعطاء معدل البذار إما بالكيلوجرام لكل هكتار أو بذرة لكل هكتار. إذا استخدمت آلة الزراعة في صفوف وكانت تحتوي على جهاز تلقيم منفصل لكل صف، وتكون (Q) هي معدل تدفق البذور من جهاز تلقيم واحد، و(w) هي المسافة بين الصفوف. وتختلف طريقة التحكم في (Q) حسب نوع جهاز التلقيم.

الفتحة المتغيرة هي أبسط وأقدم طريقة للتلقيم الحجمي للبذور. عند دراسة تدفق الحبوب خلال الفتحات، توصل (Moysey et al., 1988) إلى أن معدل التدفق مُستقل عن عمق الحبوب فوق الفتحة في قاع الخزان. وقد هُيئت المعادلة التالية من بياناتهم:

$$Q = -\ 0.0342 + 770\ A_n \sqrt{g\ D_e} \qquad (٦,٢)$$

حيث:

Q = معدل التدفق الحجمي، لتر/ ث

g = عجلة الجاذبية، ٩,٨٠١ م/ ث^{٢}

D_e = القطر الهيدرولي للفتحة، م

A_n = المساحة الصافية الفعالة للفتحة، م^{٢}.

يمكن تطبيق المعادلة لكل من الفتحات الدائرية أو المستطيلة و التي تكون مُتمركزة بقاع الخزان. ويزداد معدل التدفق الحجمي بنسبة ١٥٪ عندما تكون الفتحة عند حافة الخزان. ويكون كل من القطر الفعال والمساحة الصافية الفعالة أصغر من المقاسات الطبيعية للفتحة؛ لأن البذور المتعلقة بالحافة تُقلل المقاس الفعال للفتحة.

ولأخذ هذا التأثير بالحسبان يجب تقليل كل بعد خطي للفتحة بمقدار حاصل ضرب (k) في حجم البذرة. فلفتحة دائرية قطرها (D)، يكون القطر الهيدرولي ($D_e = D-kd$)، حيث (d) هو مقاس البذرة، و (k) ثابت. ولفتحة على شكل مستطيل طوله الطبيعي (a) وعرضه (b) يكون الطول الفعال ($a' = a - k\,d$)، والعرض الفعال ($b' = b - k\,d$). وتكون المساحة للفتحة المستديرة ($A_n = 0.25\,\pi\,D_e^2$). وللفتحة التي على شكل مستطيل يكون ($A_n = a'\,b'$)، يكون القطر الهيدرولي للفتحة المستطيلة ($D_e = (0.5\,a'\,b')/(a' + b')$). وقد حدد (Moysey et al., 1988) قيم(k d) للبذور الشائعة مثل ٥ , ٧م للشعير، ٥ م للقمح، ٣ , ٣م للكتان و ٨ , ١ م للفت، حيث ($k = 1.4$). ويصبح التدفق خلال الفتحة غير منتظم عندما تقل قيمة (D_e) عن (6 d) ويكون مستقلاً عن مقاس الحبوب عندما تزيد قيمة (D_e) عن (20 d). ولشكل خزان البذور تأثير طفيف على معدل التدفق عندما تزيد قيمة (D_e) عن (12 d). وقد طُورت المعادلة رقم (٢ , ٦) لخزانات البذور الثابتة غير المزوّدة بنظام تقليب، حيث يستخدم المقلب في آلة النثر لمنع التجسر واهتزاز خزان البذور نتيجة التضاريس الخشنة للحقل، مما قد يؤثر على معدل التدفق. ولهذا فإن المعادلة رقم (٢ , ٦) توفر نقطة بداية للتصميم ولكن يجب حساب المعدلات الدقيقة للتدفق من خلال معايرة الطراز الأصلي. يوضح المثال رقم (١ , ٦) استخدام المعادلة رقم (٢ , ٦).

مثال رقم (١ , ٦)

احسب معدل تدفق بذور البرسيم الحلو (النفل الحلو) من خزان آلة لنثر البذور تعمل بالطرد المركزي. فتحة تصريف البذور على شكل مستطيل طوله ٨٠م وعرضه ٣٠م وتقع على حافة الخزان.

الحل. في تمارين نهاية هذا الفصل، يوجد جدول لخواص البذور، ومن الجدول نجد أن قطر بذرة البرسيم = ٤١ , ١ م. تكون الأبعاد الفعالة للفتحة كالتالي:

$$a' = a - k\,d = 0.08 - 1.4\,(0.00141) = 0.0780\ \text{m}$$

$$b' = b - k\,d = 0.03 - 1.4\,(0.00141) = 0.0280\ \text{m}$$

$$A_n = a'\,b' = (0.0780)(0.0280) = 0.00218\ m^2$$

$$D_e = 0.5\ a'\,b'/(a'+b') = 0.5(0.078)(0.028)/(0.078+0.028) = 0.0103\ m$$

ومن المعادلة رقم (٢ , ٦)، فإن معدل التدفق للفتحة التي بمركز قاع الخزان:

$$Q = -\ 0.0342 + 770(0.00218)(9.801*0.0103)^{0.5} = 0.499\ L/s$$

ونظرًا لوجود الفتحة على حافة الخزان، فإنه يجب زيادة معدل التدفق بنسبة ١٥٪:

$$Q = 0.499\ (1.15) = 0.574\ L/s$$

تعتبر كل من آليات التلقيم ذات الأسطوانة المموَّجة أو المجرى الداخلي المزدوج أجهزة موجبة الإزاحة ظاهريًا. لمثل هذه الأجهزة، تكون المعادلة التالية مفيدة في تقدير معدل التدفق الحجمي للبذور:

$$Q = \frac{V_c\ \lambda_c\ n}{60 * 10^6} \qquad (٦,٣)$$

حيث:

Q = معدل التدفق الحجمي للبذور، لتر/ ث

V_c = حجم الخلية = حجم كل خلية، مم٣

λ_c = عدد الخلايا على محيط الأسطوانة المموَّجة أو المجرى الداخلي

n = سرعة دوران الأسطوانة المموَّجة أو المجرى الداخلي، لفة/ د.

يتم التحكم في معدل تدفق البذور بتغيير نسبة السرعة بين عجلات الأرض وجهاز التلقيم أو بتغيير (V_c). كما ذُكر في الجزء الخاص بتلقيم البذور، يتم تغيير (V_c) بتحريك الجزء المموَّج جانبيًا، الشكل رقم (٦,٨) أو بتغيير وضع البوابة فوق جهاز التلقيم ذي المجرى الداخلي المزدوج، الشكل رقم (٦,٩). ويستخدم المصطلح "موجب ظاهري" (أو موجب إلى حد ما) لوصف إزاحة الأسطوانة

المموّجة أو المجرى الداخلي المزدوج؛ وذلك لأن المسافة الخالية بين البذور تعني أنه لايتم شغل كل حجم الخلية بالبذور. وكذلك فإن بعض البذور سوف تُقذف على نحو نموذجي وراء حافة الخلايا. ولهذا فإن حجم البذور المنصرفة في كل مرة تمر فيها الخلية على أنبوب البذور لايتساوى تماماً مع حجم الخلية. ويمكن استخدام المعادلة رقم (٦,٣) لأغراض التصميم، ولكن الحساب الدقيق لمعدل التدفق لأي نوع من البذور يتطلّب معايرة الطراز الأصلي للآلة.

لأي من آلات الزراعة التي تُلقم البذور مفردة، يمكن حساب معدل البذار النظري باستخدام المعادلة التالية:

$$R_{st} = \frac{10000}{w\ x_s} \qquad (٦,٤)$$

حيث:

R_{st} = معدل البذار النظري، بذرة/ هـ

w = المسافة بين الصفوف، م

x_s = المسافة بين البذور في الصف، م.

يمكن حساب المسافة بين البذور في الصف باستخدام المعادلة التالية:

$$x_s = \frac{60\ v}{\lambda_c n} \qquad (٦,٥)$$

حيث:

λ_c = عدد البذور المنصرفة لكل لفة من جهاز التلقيم

n = السرعة الدورانية لجهاز التلقيم، لفة/ د

v = سرعة سير آلة الزراعة، م/ ث.

لاحظ أنه لمسافة مُعطاة بين الصفوف، يمكن تغيير معدل البذار النظري فقط بتغيير المسافة بين البذور في الصفوَف. وتُغير المسافة بين البذور في الصف بتغيير نسبة السرعة بين عجلات الأرض وجهاز التلقيم.

أداء آليات تلقيم البذور. من بين كل الأنواع المختلفة لآلات الزراعة التي تم مناقشتها في هذا الفصل، نجد أن آلة الزراعة بالنثر هي أقلهن دقةً في تطبيق المعدل المرغوب، يرجع ذلك لثلاثة أسباب؛ الأول: هو أن الفتحة المتغيرة ليست جهاز تلقيم موجب الإزاحة. الثاني: هو كون وحدة التلقيم غير موجبة الإزاحة، فلايكون لمعدل التلقيم ارتباط بسرعة سير الآلة، وبالتالي تكون مهارة العامل مطلوبة لتنسيق سرعة السير مع معدل التلقيم. الثالث: هو أنه لايتم تحديد عرض النثر لآلة نثر البذور بدقة كما في حالة آلات الزراعة الأخرى التي ذكرت في هذا الفصل. ولهذا، تكون آلة نثر البذور مناسبة للحالات التي لايكون فيها التحكم الدقيق في معدل البذار هامًا. ولآلات نثر البذور القدرة على التطبيق السريع، بعروض نثر تصل إلى ١٥ م وسرعات سير ٥ م/ث أو أكثر.

يعطي التسطير تحكمًا أكثر دقة في معدلات البذار بسبب أنه يمكن التحكم في عرض المسار بدقة وأنه يتم ربط معدل التلقيم بسرعة السير تلقائيًا. من خلال المعايرة، يمكن إيجاد معدل التدفق الحجمي من جهاز التلقيم بدقة جيدة لأي بذور معطاة. المسافة بين البذور في الصف تكون غير منتظمة بسبب أنه يتم تصريف البذور لأنبوب البذور في خلايا. وكلما اقتربت الخلية من أنبوب البذور، تبدأ البذور في السقوط داخله بشكل قطرات، وبعد تفريغ الخلية في الأنبوب، وباقتراب الخلية التالية من الأنبوب، تبدأ البذور مرة أخرى في السقوط داخله. ولهذا، وعلى الرغم من أن متوسط معدل البذار قد يكون دقيقًا، تميل البذرة إلى أن تستقر بشكل مجموعات على طول الصف. وقد يؤثر ميل الحقل على معدل التدفق من جهاز التلقيم ذي الأسطوانة المموَّجة. و تميل معدلات التدفق للزيادة عندما تسير الآلة على منحدر لأسفل. ففي إحدى الحالات زاد معدل التدفق بنسبة ٤٤٪ على منحدر ميله ١٥٪ لأسفل. وحيث إن جهاز التلقيم يُدار عن طريق عجلة الأرض، فإنه يمكن أن يؤثر ضغط الهواء داخل الإطارات على معدل البذار. إذا كان ضغط الهواء داخل الإطارات منخفضًا، يقل نصف قطر العجلة مسببًا عدد لفات أكثر للعجلات خلال مسافة السير، مما يؤدي إلى زيادة معدل البذار. ويؤدي انزلاق عجلات الآلة إلى تقليل معدل البذار، ولذا يجب أخذ الانزلاق في الاعتبار عند حساب معدل

البذار. وتتراوح سرعات السير النموذجية لآلات التسطير من ١ إلى ٣ م/ث. وتتراوح متطلبات القدرة النموذجية اللازمة لشد الآلة من ١ إلى ٤, ١ ك.واط لكل صف.

تعطي آلات الزراعة التي تلقم البذور مفردة تحكمًا أكثر دقة في معدلات البذار. ومعدل البذار الفعلي سوف يتساوى مع المعدل النظري إذا – وفقط إذا – قام كل أصبع التقاط أو كل خلية بذور بحمل بذرة واحدة بالضبط. ولأسباب مختلفة قد تفشل بعض الخلايا في أن تمتلأ، وعليه يقل معدل البذار الفعلي عن المعدل النظري. وعلى عكس ذلك، إذا احتوت بعض الخلايا على أكثر من بذرة بسبب عدم التوافق بين كل من حجم البذرة وحجم الخلية، يمكن أن يكون المعدل الفعلي أكبر من المعدل النظري. ويُدار جهاز التلقيم في آلات الزراعة الدقيقة عن طريق عجلة الأرض، وكما في آلات التسطير، يؤثر انزلاق عجلة الإدارة، أو ضغط الهواء داخل الإطارات على معدل البذار. وقد طُورت أجهزة مراقبة إلكترونية لمراقبة البذرة في آلات الزراعة الدقيقة. حيث يوجد في كل أنبوب مجس لتحسس مرور البذور. ويمكن برمجة بعض أجهزة المراقبة لإعطاء جرس إنذار إذا زاد أو قل معدل مرور البذور. وتتراوح سرعات السير النموذجية لآلات الزراعة الدقيقة من ١ إلى ٣ م/ث. وتتراوح متطلبات القدرة النموذجية اللازمة لشد آلة زراعة المحصول في صفوف من ١ إلى ٤, ٢ ك.واط لكل صف.

المراقبة والتحكم في تلقيم البذور. للمحاصيل التي تتطلّب تلقيمًا فرديًا للبذور، يمكن أن يؤدي الأداء غير المرضي لنظام التلقيم إلى أداء غير مقبول في عملية الزراعة. وقد طُورت أجهزة المراقبة لتحذير العامل عند حدوث قصور في عمل نظام التلقيم. واحتوت أجهزة المراقبة التي ظهرت مبكرًا على مفاتيح آلية تعمل أثناء مرور البذور داخل أنابيب تصريف البذور، ولكن هذه الأجهزة الآلية تؤثر على المسار الطبيعي للبذور. وأجهزة المراقبة الحالية لاتعمل بالتلامس. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تقوم البذور باعتراض مسار ضوء بين مصدره وخلية ضوئية، مؤديًا إلى حدوث نبضة كهربائية في كل مرة تمر فيها بذرة. وتقوم أجهزة مراقبة بسيطة باستخدام كل نبضة كهربائية لتومض مصباحًا أمام السائق (يوجد مصباح مستقل لكل صف) في

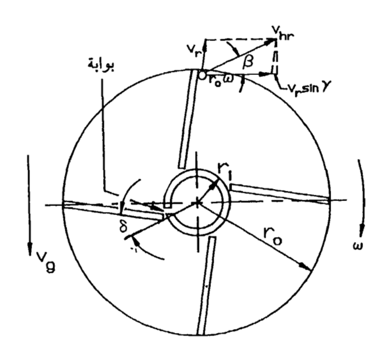
كل مرة تمر فيها بذرة. ويكون التشغيل مرضيًا طالما استمر المصباح الخاص بكل صف في الوميض. وفي أنظمة أكثر تقدمًا تقاس مسافة السير بين النبضات الكهربائية. ويحسب معدل البذار (بذرة/ هـ) آليًا ويظهر أمام السائق. ويسمح التحكم في التغذية العكسية بالتحكم الآلي في معدلات التلقيم. وباستخدام أنظمة التحكم في التغذية العكسية يمكن للعامل ضبط معدل البذار المطلوب. وتتم مقارنة معدل البذار المحسوب من العدادات بالمعدل المرغوب فيه، وإذا اختلف المعدل المرغوب فيه عن المعدل الفعلي، تُعطى إشارة لمشغل آلي لإعادة ضبط عجلة جهاز التلقيم متغيرة السرعة لتصحيح معدل البذار.

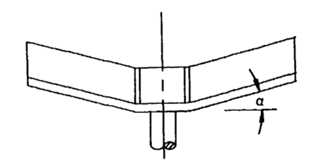
٦,٢,٢ نقل البذرة

آليات نقل البذرة. بعد تلقيم البذور، يجب نقلها إلى سطح التربة أو إلى داخل الأخدود. وتعتمد معظم أنظمة النقل في المقام الأول على الجاذبية لتحريك البذور رأسيًا. وإذا كان هناك احتياج للحركة الأفقية، فيجب إتمامها بجهاز نقل. وعند نقل البذور، يكون الاحتكاك موجودًا، وقد يكون له تأثير على مسار سير البذور.

نظرية نقل البذور. في آلات نشر البذور، يستخدم واحد أو أكثر من الأقراص المغزلية لنقل البذرة، الشكل رقم (٦,١٥). حيث تتحرك البذور لأسفل خلال أنبوب بذور مركزي لتدخل القرص المغزلي خلال بوابات. ويبين الشكل رقم (٦,١٥) بوابة واحدة فقط. وتحكم المعادلات التالية حركة البذرة على القرص بافتراض أن البذور تنزلق على القرص وعلى أسطح ريش التوجيه بدلاً من تدحرجها (Cunningham, 1963). ويمكن حساب الزاوية (θ) التي يدور خلالها القرص، بينما تكون البذرة متلامسة مع الريشة، وذلك بحل المعادلة التالية:

$$\frac{(C_1+f)\,e^{c_2(c_1-f)\theta}+(C_1-f)\,e^{c_2(c_1+f)\theta}}{2\,C_1}=\frac{r_o-\dfrac{C_3 g}{C_4\omega^2}}{C_5\,r_i-\dfrac{C_3 g}{C_4\omega^2}} \qquad (٦,٦)$$





شكل ٦,١٥. موزع بالطرد المركزي.

بعد حساب قيمة (θ)، يمكن استخدام المعادلة التالية لحساب نسبة سرعة البذور إلى سرعة ريشة القرص:

$$v_r = \frac{\omega}{2C_1}\left(C_5\ r_i - \frac{fg}{\omega^2}\right)\left(e^{C_2(C_1-f)\theta} - e^{-C_2(C_1-f)\theta}\right) \qquad (٦,٧)$$

حيث :

v_r = نسبة سرعة البذور إلى سرعة ريشة القرص

f = معامل الاحتكاك بين القرص المغزلي والبذور

g = عجلة الجاذبية، ٩,٨٠١ م/ث٢

$$C_1 = (f^2 + C_4/C_2)^{0.5}$$

$$C_2 = \cos \alpha$$

$$C_3 = \sin \alpha + f \cos \alpha$$

$$C_4 = \cos \alpha - f \sin \alpha$$

$$C_5 = \cos \delta + f \sin \delta$$

r_i = نصف قطر النهايات الداخلية للريش، م

r_o = نصف القطر الخارجي للقرص، م

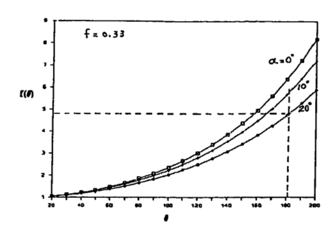
ω = السرعة الزاوية للقرص، ز/ث.

الزوايا (θ)، (δ)، (α) بالتقدير الدائري. تكون الزاوية (δ) موجبة للريش المائلة ناحية الأمام، كما هو مبين بالشكل رقم (١٥ ,٦)، وسالبة للريش المائلة للخلف.

الزوايتان (α) و (δ) موضحتان في الشكل رقم (١٥ ,٦). يكون القرص المغزلي مسطحًا عندما تكون الزاوية (α) مساوية للصفر. ويكون القرص على شكل مخروط عندما تكون الزاوية (α) أكبر من الصفر. فالقرص ذو الشكل المخروطي يزيد من طول مسار البذرة وذلك بإكساب البذرة مركبة سرعة لأعلى ($V_v = V_r \sin \alpha$). وتكون الزاوية (δ) موجبة عندما تميل الريش للأمام كما هو مبين في الشكل رقم (١٥ ,٦)، بينما تكون مساوية للصفر عندما تكون الريش قطرية. وتكون الزواية (δ) سالبة عندما تميل الريش للخلف.

لايمكن حل المعادلة رقم (٦ ,٦) حلاً واضحًا لحساب قيمة الزاوية (θ). ولهذا يكون من المطلوب استخدام الحل على مراحل. وكبديل آخر، أعد الشكل رقم (١٦ ,٦) لحل المعادلة رقم (٦ ,٦) بيانيًا. والمتغيرات الثلاثة للطرف الأيسر للمعادلة رقم (٦ ,٦) هي: (f)، (α)، (θ) . فقد تم رسم قيم الطرف الأيسر للمعادلة رقم (٦ ,٦) في الشكل رقم (١٦ ,٦) على المحور الصادي مقابل قيم الزاوية (θ) على

المحـور السـيني، والمنحنيـات مـبـينة للقـيم الثـلاث للزاوية (α). وعلى الرغـم من استخدام (f = 0.33) في الرسـم البيـاني، إلا أن الحل يعتمد بشكل ضعيف على قيمة (f). ويمكن اسـتـخـدام قـيم (f) التي تتـراوح من ٢٠,٠ إلى ٤٥,٠. ويقع مـعـامل الاحتكاك الانزلاقي في المدى الافتـراضي الذي تنزلق فيه كل البذور على الصلب. لاستخدام الشكل رقم (٦,١٦)، تحسب قيمة الطرف الأيمن للمعادلة رقم (٦,٦)، لـوضع مـعـين، وترسم على المحـور الرأسي للشكـل رقم (٦,١٦). ويُرسم خط على يمين المنحنى الخـاص بقـيـمـة مناسـبـة للزاوية (α)، ثم يُرسم خط عـمـودي على المحـور السـيني لإيجـاد القـيـمـة المقـابلة للزاوية (θ)، ثم وكـمـا ذكـر سـابقًـا، يمكن اسـتخدام المعادلة رقم (٦,٧) لحسـاب سرعة انزلاق البذرة بالنسبة للريشة، وذلك عند طرفها الخارجي.



شكل ٦,١٦. رسم بياني يمثل الحل البياني للمعادلة رقم (٦,٦).

يمكن حسـاب مقـدار واتجاه المركـبـة الأفقـيـة لسرعـة البذرة عند تركها للقرص باستخدام المعادلات النسبية التالية:

$$v_{hr} = \sqrt{\left(v_r \cos\alpha \cos\gamma\right)^2 + \left(r_o \omega + v_r \cos\alpha \sin\gamma\right)^2} \qquad (٦,٨)$$

$$\beta = \arctan \frac{v_r \cos \alpha * \cos \gamma}{r_o\ \omega + v_r \cos \alpha * \sin \gamma} \qquad (٦,٩)$$

حيث : $(\gamma = \arctan (r_i \tan \delta / (r_o - r_i)))$. سرعة سير آلة النثر على الأرض (v_g) مبينة في الشكل رقم (١٥ ,٦). بضبط عناصر المعادلة رقم (٦ ,٦)، فإنه يمكن ضبط اتجاه مسار البذرة بالنسبة لاتجاه السير. وعادة، يجب وضع عدة بوابات في مركز أنبوب البذور لإعطاء تغطية جيدة للبذور خلال المسار. يوضح المثال رقم (٢ ,٦) الحسابات.

مثال رقم (٢ ,٦)

تُستخدم آلة نثر بذور بالطرد المركزي لنثر بذور البرسيم الحلو، فإذا توفرت البيانات التالية :

نصف القطر الداخلي للريشة (r_i) = ٠٥ ,٠ م

نصف القطر الخارجي للريشة (r_o) = ٢٠ ,٠ م

زاوية القرص (α) = ١٠°

زاوية اتجاه الريشة (δ) = ٢٠°

سرعة دوران القرص (ω) = ٥ ,٧٨ ز/ ث [٧٥٠ لفة/ د]

معامل الاحتكاك (f) = ٢٨ ,٠

احسب : (أ) الزاوية (θ) التي يدور من خلالها القرص، بينما تكون البذرة ملامسة للريشة، (ب) نسبة سرعة البذرة إلى سرعة الريشة عند حافتها الخارجية، (جـ) مقدار واتجاه المركبة الأفقية لسرعة البذور عند تركها القرص المغزلي، (د) المركبة الرأسية لسرعة البذور عند تركها القرص المغزلي.

الحل. الخطوة الأولى هي حساب قيم ثوابت المعادلة رقم (٦ ,٦).

$C_2 = \cos (10^\circ) = 0.985$

$C_3 = \sin (10^\circ) + (0.28) \cos (10^\circ) = 0.449$

$C_4 = \cos(10°) - (0.28)\sin(10°) = 0.936$

$C_5 = \cos(20°) + (0.28)\sin(20°) = 1.035$

$C_1 = (0.28^2 + 0.936/0.985)^{0.5} = 0.844$

$C_3\, g / (C_4\, \omega^2) = (0.449*9.801)/(0.936*78.5^2) = 0.000763$

(أ) يمكن الآن إيجاد قيمة الزاوية (θ). تكون قيمة الطرف الأيمن للمعادلة رقم (٦, ٦) هي:

$$f(\theta) = (0.20 - 0.000763)/(1.035 * 0.05 - 0.000763) = 3.908$$

وكما هو مبين بالخطوط المتقطعة في الشكل رقم (٦, ١٦)، قيمة (f (θ)) التي تتطابق مع (θ) = ١٨١ ° أو ١٥٩, ٣ بالتقدير الدائري عندما (α) = ١٠ °.

(ب) الخطوة التالية يمكن استخدام المعادلة رقم (٦, ٧) لحساب قيمة (v_r). سوف لايتم إعادة كتابة المعادلة الطويلة، ولكن بالتعويض عن القيم تكون النتيجة أن (v_r) = ١٥, ٨٣ م/ث.

(جـ) الخطوة التالية، يجب حساب الزاوية (γ) لاستخدامها في المعادلتين رقمي (٦,٨)، (٦, ٩):

$$\gamma = \arctan[(0.05 \tan(20°) / (0.20 - 0.05)] = 6.92° \text{ or } 0.121 \text{ radians}$$

ثم من المعادلة رقم (٦, ٨)، تغادر البذور القرص بسرعة أفقية مقدارها:

$$v_{hr} = [(15.83 \cos(10°) \cos(6.92°))^2 + (0.20*78.5 + 15.83 \cos(10°) \sin(6.92°))^2]^{0.5} = 23.4 \text{ m/s}$$

من المعادلة رقم (٦, ٩) تكون زاوية مغادرة البذرة للقرص:

$\beta = \arctan [15.83 \cos (10) \cos (6.92)/(0.2*78.5 + 15.83 \cos (10) \sin (6.92))] = 41.4°$

(د) وأخيراً، تكون المركبة الرأسية لسرعة البذور:

$v_v = 15.83 \sin (10) = 2.75$ m/s (لأعلى)

عندما تكون البذور على وشك مغادرة القرص المغزلي، فإنها تدخل مسارات القذف بسرعة مطلقة مقدارها (V_v) وسرعة (v_{hr}) تتناسب مع سرعة الآلة، بينما تكون القيمة المطلقة للسرعة الأفقية هي المجموع الاتجاهي لكل من (v_{hr}) و (v_g)، وتُهمل عادة مساهمة السرعة (v_g). ويمكن استخدام (v_{hr}) كسرعة أفقية أولية مطلقة للبذور. يمكن استخدام المعادلات التالية لحساب مسار جسيم في الهواء الساكن (Pitt et al., 1982) ، (Georing et al.,1972) :

$$\ddot{h} = -C_6 \dot{h} \sqrt{\dot{h}^2 + \dot{z}^2} \qquad (٦,١٠)$$

$$\ddot{z} = g - C_6 \dot{z} \sqrt{\dot{h}^2 + \dot{z}^2} \qquad (٦,١١)$$

حيث :

h = الإزاحة الأفقية، م

z = الإزاحة الرأسية، م ، موجبة ولأسفل

C_6 = ثابت مقداره ($0.5\ C_D\ \rho_a\ A_p/m$)

g = عجلة الجاذبية، م/ث^٢

A_p = المساحة الأمامية المُسقطة للجسيم، م^٢

m = كتلة الجسيم (كجم)

ρ_a = الكثافة الظاهرية للهواء، كجم/م^٣ (($29P_b/(8.314\ \Theta_a)$)

p_b = الضغط البارومتري، كيلوبسكال

Θ_a = درجة حرارة الهواء المحيط (°ك= °م + ٢٧٣).

توضح النقطة المفردة فوق الحرف (h) أو الحرف (z) الاشتقاق الأول بالنسبة للزمن (السرعة)، بينما توضح النقطتان فوق كل من الحرفين الاشتقاق الثاني (التسارع). يختلف معامل مقاومة الهواء (C_D) باختلاف رقم رينولد. المعادلات التالية تعطي تقريبًا جيدًا لمعاملات مقاومة الهواء وكان (Eisner, 1930) أول من قام بقياسها.

$$C_D = \frac{24}{N_{re}} \quad \text{for } N_{re} \leq 1 \tag{٦, ١٢}$$

$$C_D = \left(26.38\ N_{re}^{-0.845} + 0.49\right) \quad \text{for } N_{re} > 1 \tag{٦, ١٣}$$

حيث يحسب رقم رينولد من المعادلة التالية:

$$N_{re} = \frac{\rho_a\ v_p\ d_p}{\mu_a} \tag{٦, ١٤}$$

حيث:

N_{re} = رقم رينولد، ليس له وحدات

v_p = سرعة الجسيم، $\left(m/s = \left(\dot{h}^2 + \dot{z}^2\right)^{0.5}\right)$

d_p = القطر الفعال للجسيم، م

μ_a = اللزوجة الدينامية للهواء، ن. ث/ م٢.

على مدى واسع للضغوط البارومترية للهواء، تكون لزوجة الهواء هي دالة لدرجة حرارة الهواء فقط، أي أن:

$$\mu_a = 4.79 * 10^{-6}\ e^{0.678\ +\ 0.00227\ \theta_a} \tag{٦, ١٥}$$

المعادلات من رقم (٦, ١٠) إلى رقم (٦, ١٥) ليس لها حل عام دقيق ولكن، يمكن حلها على مراحل باستخدام الحاسب الآلي لحساب مسار البذرة. والعناصر

المطلوبة هي: كتلة البذرة، القطر الفعال، المساحة الأمامية المُسقطة، درجة حرارة الهواء، الضغط البارومتري والسرعة الأولية للبذرة عند تركها القرص المغزلي. وللقرص المخروطي، تكون السرعة الأولية الرأسية ($-v_v$) وتكون السرعة الأولية الأفقية (v_{hr}). معادلات المسار مبنية على افتراض ظروف رياح مستقرة.

وقد افترض (Pitt et al., 1982) فروضًا مبسطة للتمكن من حساب المسارات لتفادي الحل على مراحل. الافتراض الأول هو أن الجسيم ينطلق أفقيًا، ويعني ذلك أن السرعة الأولية الرأسية تساوي صفراً. وكذلك، وُضعت السرعة الرأسية في المعادلة رقم (٦, ١٠) مساوية للصفر، بينما وُضعت السرعة الأفقية مساوية للصفر في المعادلة رقم (٦, ١١). وكذلك، تم افتراض ثبات معامل مقاومة الهواء. وتحت ظروف تلك الفروض المبسطة، يمكن حساب الزمن اللازم لسقوط جسيم مسافة (z) باستخدام المعادلة التالية:

$$t = \frac{\ln\left(Arg + \sqrt{Arg^2 - 1}\right)}{2\,C_6\,C_7} \qquad (٦, ١٦)$$

حيث:

$$Arg = 2\,e^{(2\,C_6\,z)} - 1$$

$$C_7 = (g/C_6)^{0.5}$$

ويمكن حساب مسافة السير الأفقية أثناء ذلك الزمن من المعادلة التالية:

$$h = \frac{\ln\left(C_6\ v_{hr}\ t + 1\right)}{C_6} \qquad (٦, ١٧)$$

حيث:

t = زمن سقوط الجسيم مسافة (z) ، ث

v_{hr} = السرعة الأولية في الاتجاه الأفقي، م/ث.

المعادلات من رقم (٦, ٦) إلى رقم (٦, ١٧) توفر طرقًا لتقدير مختلف عوامل

النقل التي تؤثر على انتظام النمط الناشىء عن آلة نثر البذور. ويشرح المثال رقم (٦,٣) استخدام المعادلتين رقمي (٦,١٦) و (٦,١٧) لحساب النقطة الأخيرة لمسار البذرة.

مثال رقم (٦,٣)

تترك بذور البرسيم الحجازي آلة نثر البذور بالطرد المركزي وذلك بسرعة أولية أفقية مقدارها ٢٠ م/ث. فإذا كان ارتفاع قرص الآلة ٢م فوق سطح الأرض، احسب مسافة السير الأفقية لكل بذرة قبل وصولها إلى الأرض. الضغط البارومتري ١٠٠ كيلوبسكال ودرجة حرارة الهواء ٢٠ °م.

الحل. قبل استخدام المعادلة رقم (٦,١٦) يجب حساب قيم الثوابت (C_6) و (C_7). لجسيم كروي الشكل يمكن توضيح مايلي:

$$C_6 = 0.75\ C_D\ \rho_a/(\rho_p\ d_p)$$

حيث (ρ_p) كثافة الجسيم بوحدات كجم/م^3. من الجدول الموجود بتمارين نهاية هذا الفصل (d_p) = ٠,٠٠١٥٣ م و(ρ_p) = ١١٨٤ كجم/م^3. يجب حساب رقم رينولد لاستخدامه في حساب معامل مقاومة الهواء. تكون كثافة الهواء:

$$\rho_a = 29 * 100/(8.314 * 20 + 273) = 1.19\ kg/m^3$$

من المعادلة رقم (٦,١٥) وعند درجة حرارة ٢٠ °م، تكون لزوجة الهواء (μ_a) = ١,٨٣٥×١٠$^{-5}$ ن.ث/م^2. بالرغم من تغير سرعة الجسيم خلال مساره، فسوف تستخدم سرعة أولية مقدارها ٢٠ م/ث لحساب رقم رينولد كالتالي:

$$N_{re} = 1.19 * 20 * 0.00153/(1.835 * 10^{-5}) = 1984$$

ثم من المعادلة رقم (٦,١٣)، يكون معامل مقاومة الهواء:

$$C_D = 26.38 * 1984^{-0.845} + 0.49 = 0.533$$

والآن، يمكن حساب قيم الثوابت (C_6) و(C_7) كالتالي:

$$C_6 = 0.75 * 0.533 * 1.19 / (1184 * 0.00153) = 0.263$$
$$C_7 = (9.801/0.263)^{0.5} = 6.10$$

ولمسافة سقوط للبذرة مقدارها ٢ م، تكون قيمة (Arg) ٤,٧٢٧. ومن المعادلة رقم (٦,١٦) يكون زمن السقوط ٠,٦٩٧ ث. وأخيراً، من المعادلة رقم (٦,١٧) تكون مسافة السير الأفقية بواسطة البذرة خلال ٠,٦٩٧ ث هي٥,٨٦ م. وبالمقارنة، بيَّن تحليل الحاسب الآلي لنفس المسار وباستخدام المعادلات من رقم (٦,١٠) إلى رقم (٦,١٥) أن زمن السقوط لمسافة ٢ م هو ٠,٨٢ ث ومسافة السير الأفقية في نفس الزمن هي ٦,٠٥ م. ولهذا فإن التبسيط باستخدام المعادلة رقم (٦,١٦) يعمل على تقليل زمن السقوط المُتنبأ به بنسبة ١٥٪، ولكن المعادلة رقم (٦,١٧) تُقلل المسافة الأفقية المُتنبأ بها بنسبة ٣٪ فقط. يبين رسم المسار بالكامل أن البذرة كانت تتحرك تقريبًا رأسيًا قرب نهاية المسار ولهذا فإن تقليل القيمة المُقدرة لزمن السقوط كان له تأثير محدود على المسافة المقطوعة أفقيًا. وباستخدام قيم نموذجية لنثر البذور، يمكن أن تتنبأ المعادلتان رقما (٦,١٦) و (٦,١٧) بالمسافة الأفقية في نطاق ١٠٪ من القيمة المحسوبة بالمعادلات من رقم (٦,١٠) إلى رقم (٦,١٥). إذا استخدمت المعادلتان رقما (٦,١٦) و (٦,١٧) لحساب ورسم المسار كاملاً، فإن إدخال معامل في المعادلة رقم (٦,١٦) لزيادة زمن السقوط بنسبة ١٠٪ تقريبًا سوف يُحسن من دقة المسار المحسوب.

تحتوي كل من آلة تسطير البذور وآلات الزراعة الدقيقة على أنابيب إسقاط لنقل البذور من جهاز التلقيم إلى الأخدود. وتكون أنابيب الإسقاط تقريبًا رأسية،

وإذا أهمل الاحتكاك بين البذرة وجدار الأنبوب، يمكن استخدام المعادلة رقم (٦, ١١) لحساب الزمن اللازم لمرور البذرة خلال أنبوب الإسقاط وكذلك السرعة الرأسية عند نقطة الخروج. ونظراً لأن الأنبوب يكون تقريبًا رأسيًا على الأقل عند نقطة دخول البذرة، فيمكن اعتبار السرعة في الاتجاه الأفقي مساوية للصفر في المعادلة رقم (٦, ١١). وإذا كان معامل مقاومة الهواء (C_D) متغيراً، كما هو الحال في المعادلتين رقمي (٦, ١٢) و (٦, ١٣)، تكون هناك حاجة للحاسب الآلي لحل المعادلة رقم (٦, ١١). وإذا افترض أن معامل مقاومة الهواء (C_D) ثابتًا، يمكن حساب الزمن التقريبي لمرور البذرة داخل أنبوب البذور وذلك باستخدام المعادلة رقم (٦, ١٦) وذلك باعتبار أن المسافة الرأسية (z) مساوية لطول الأنبوب. وكذلك، بحل المعادلة رقم (٦, ١٦) لحساب قيمة (z) والتفاضل بالنسبة للزمن، يمكن الحصول على المعادلة التالية لحساب سرعة البذرة داخل أنبوب الإسقاط:

$$\dot{z} = \frac{C_7 \sinh\left(2\, C_6\, C_7\, t\right)}{1 + \cosh\left(2\, C_6\, C_7 t\right)} \tag{٦, ١٨}$$

عند اعتبار (t) زمن مرور البذرة داخل أنبوب الإسقاط، تعطي المعادلة رقم (٦, ١٨) السرعة الرأسية عند نقطة الخروج. وغالبًا يكون الأنبوب مقوسًا باتجاه الخلف بالقرب من نقطة الخروج، انظر الشكل رقم (٦, ١٤)، وذلك لإكساب البذرة مركبة سرعة خلفية قرب المخرج. إذا كان اتجاه سرعة خروج البذرة بزاوية (θ_e) على الرأسي فإن المركبة الأفقية للسرعة عند نقطة الخروج بالنسبة لآلة الزراعة تكون:

$$\dot{x}_r = \dot{z}\, \tan \theta_e \tag{٦, ١٩}$$

يؤثر ارتداد البذرة في الأخدود على انتظام المسافات بين البذور الملقمة. ويمكن تقليل ارتداد البذرة إلى الحد الأدنى أو حتى التخلص منه نهائيًا وذلك إذا تساوت المركبة الأفقية لسرعة البذرة بالنسبة للآلة مع السرعة الأمامية للآلة، حيث يؤدي ذلك إلى سقوط البذرة بسرعة أفقية مساوية للصفر بالنسبة للأرض.

في آلات الزراعة الهوائية يتم نقل البذور هوائيًا من نقطة التلقيم إلى الأخدود خلال أنابيب مرنة. ويمكن بيان أنه يجب على البذور اكتساب سرعة تيار الهواء خلال الأنابيب في وقت قصير. ولهذا، يمكن حساب زمن المرور داخل الأنبوب إذا عرف كل من طول الأنبوب وسرعة الهواء داخله. حيث (v_a) سرعة الهواء داخل الأنبوب، وإذا كانت سرعة الخروج بزاوية (θ_e) على الرأسي، فسوف تكون المركبة الأفقية لسرعة الخروج بالنسبة للآلة:

$$\dot{x}_r = v_a \sin \theta_e \qquad (٦,٢٠)$$

مرة أخرى يمكن التخلص من ارتداد البذرة بالتأكد من أنه تتساوى المركبة الأفقية لسرعة الخروج بالنسبة للآلة مع السرعة الأمامية للآلة. يوضح المثال رقم (٦,٤) حساب السرعات في أنابيب الإسقاط.

مثال رقم (٦,٤)

آلة زراعة دقيقة لزراعة بذور فول الصويا. تترك البذور جهاز التلقيم بسرعة مقدارها صفر بالنسبة للآلة وتسقط لمسافة رأسية مقدارها ٠,٥ م خلال أنبوب الإسقاط حتى تصل إلى الأخدود. الضغط البارومتري ١٠٠ ك. بسكال، ودرجة حرارة الهواء ٢٠ °م. احسب: (أ) السرعة الرأسية للبذرة عند نقطة الخروج، (ب) الزاوية المطلوبة لميل نقطة الخروج إذا كانت السرعة الأفقية للبذرة بالنسبة للأخدود تساوي صفراً عندما تكون سرعة الآلة ١,٨ م/ث.

الحل. (أ) كما في المثال رقم (٦,٣)، نحتاج قيم كل من (C_6) و (C_7) قبل حساب زمن السقوط. كثافة الهواء (ρ_a) ١,١٩ كجم/م^3 ولزوجته (μ_a) ١,٨٣٥×١٠$^{-5}$ ن.ث/م^2. من جدول خواص البذرة في تمارين نهاية هذا الفصل، قطر بذرة فول الصويا (d_p) ٠,٠٠٦٧٦ م وكثافتها (ρ_p) ١١٧٦ كجم/م^3. ومما لاشك فيه، أنه يجب معرفة قيم كل من رقم رينولد ومعامل مقاومة الهواء قبل حساب (C_6). تزداد زاوية السقوط من صفر إلى قيمة غير معلومة حتى الآن. لجعل

الحل ممكنًا، سوف تستخدم سرعة حدية مقدارها ١١, ١٣ م/ ث لفول الصويا (انظر جدول خواص البذرة). سوف تكون قيم رقم رينولد ومعامل مقاومة الهواء كالتالي:

$$N_{re} = 1.19 * 13.11 * 0.00676/(1.835 * 10^{-5}) = 5747$$

$$C_D = 26.38 * 5747^{-0.845} + 0.49 = 0.507$$

وتكون قيم الثوابت (C_6) و (C_7) كالتالي:

$$C_6 = 0.75 * 0.507 * 1.19/(1176 * 0.00676) = 0.057$$

$$C_7 = (9.801/0.057)^{0.5} = 13.11$$

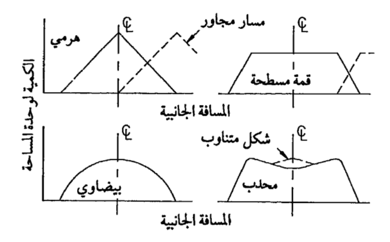
قيمة (Arg) ١١٧, ١، ومن المعادلة رقم (٦, ١٦) يكون زمن السقوط المحسوب ٣٢١, ٠ ث. ثم من المعادلة رقم (٦, ١٨) تكون السرعة الرأسية عند نقطة الخروج ٠٩, ٣م/ث. وللمقارنة، أعطت محاكاة الحاسب الآلي باستخدام المعادلات من رقم (٦, ١٠) إلى رقم (٦, ١٥) سرعة خروج مقدارها ٠, ٣م/ث. لاحظ أن سرعة الخروج هذه تقل كثيراً عن السرعة الطرفية ١١, ١٣ م/ث التي استخدمت لحساب رقم رينولد. يمكن إعادة الحل باستخدام سرعة مقدارها ٠٩, ٣ م/ث لحساب رقم رينولد. وعلى كل حال، يعتمد معامل مقاومة الهواء على رقم رينولد عند قيمه العالية بشكل ضعيف حيث أن التكرار الثاني سوف يغير معامل مقاومة الهواء بمقدار طفيف.

(ب) من المعادلة رقم (٦, ١٩) تكون الزاوية المطلوبة لنقطة الخروج لإكساب البذرة سرعة أفقية مساوية للصفر بالنسبة للأخدود كمايلي:

$$\theta_e = \arctan (1.8/3.09) = 30^\circ$$ (مقاسة من الرأسي)

أداء آليات نقل البذرة. لآليات نقل البذور التي تمت مناقشتها في القسم

السابق، يعطي القرص المغزلي التحكم الأقل دقة في نقل البذرة، وحيث إن البذرة تتحرك في مسارات مقذافية، يمكن للرياح أن تحدث اضطرابًا في نمط التغطية. من المعادلتين رقمي (٦, ٦) و (٦, ٧)، يمكن ملاحظة تأثر كل من عرض المسار ودرجة انتظامية النمط بالسرعة الدورانية للقرص المغزلي. ويتأثر النمط بسبب تأثير سرعة القرص على زاوية ترك البذرة له، المعادلة رقم (٦, ٦)، بينما يتأثر عرض المسار بسبب تحكم سرعة القرص في سرعة انطلاق البذور. تتراوح السرعات النموذجية للقرص المغزلي من ٥٠٠ إلى ٦٠٠ لفة/ د. وبعض أنماط التوزيع النموذجية من آلات النثر بالطرد المركزي مبينة في الشكل رقم (٦, ١٧). وبعمل تداخل مناسب للمسارات المتجاورة، يمكن نظريًا إتمام توزيع منتظم باستخدام أنماط إما هرمية أو مسطحة القمة.



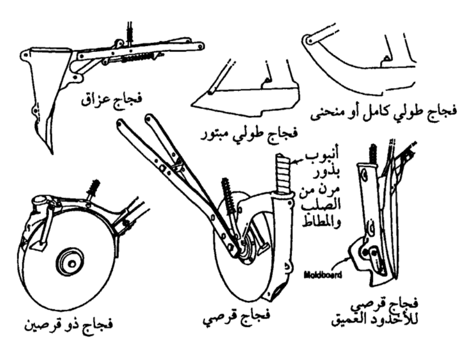
شكل ٦, ١٧. أنماط توزيع نموذجية من آلات النثر بالطرد المركزي.

تنتقل البذور خلال أنابيب الإسقاط عند تسطيرها أو زراعتها بآلات الزراعة الدقيقة. ونظراً لأن التسطير لايتطلّب وضعًا دقيقًا للبذور، يجب أن تبقى أنابيب الإسقاط مفتوحة للحصول على أداء مقبول. ففي الحالة المعتادة التي تتحرك فيها الفجاجات رأسيًا بالنسبة لخزان البذور، يجب أن تلائم أنابيب الإسقاط الحركة الرأسية. وفي الزراعة الدقيقة، يكون التلقيم الدقيق ذا قيمة قليلة إذا لم تتمكن عملية النقل أيضًا من توزيع البذور بانتظام في الصفوف. يمكن التخلص من

الارتداد الأفقي للبذور إذا تم تحريرها بسرعة أفقية مساوية للصفر بالنسبة للأرض، المعادلتان رقما (٦,١٩)، (٦,٢٠). ويمكن تقليل الارتداد الرأسي بتحرير البذور قريبة جداً من قاع الأخدود الضيق. ومن المهم أيضًا أن يكون لكل بذرة نفس زمن المرور داخل أنبوب الإسقاط. ولهذا يجب أن يكون لكل البذور نفس السرعة الأولية عند دخولها أنبوب الإسقاط ويجب تقليل الارتداد العشوائي داخل الأنبوب إلى الحد الأدنى. وسوف يقلل الأنبوب ذو الجدار الأملس من قوى الاحتكاك بين البذور والجدار. وسوف يُقلل الأنبوب ذو القطر الصغير من الارتداد داخله إلى الحد الأدنى.

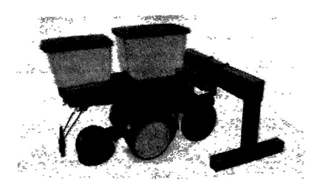
٦,٢,٣ فتح الأخدود والتغطية

آليات فتح الأخدود والتغطية. يمكن استخدام العزاقات، والفجاجات الطولية، والأقراص الفردية والمزدوَّجة لفتح الأخاديد لزراعة البذور، الشكل رقم (٦,١٨). وعادة تستخدم آلات تسطير البذور، الشكلان رقما (٦,٢) و (٦,٣)،

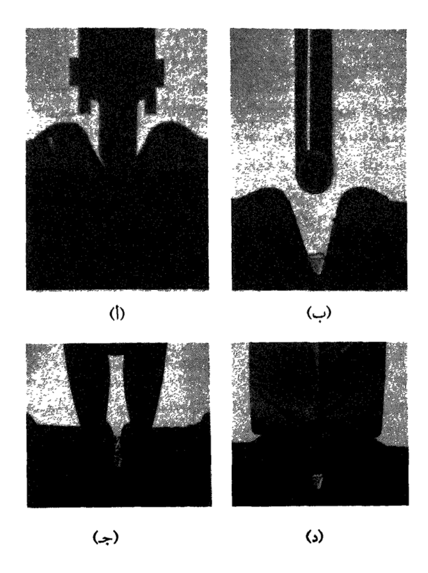


شكل ٦,١٨. بعض الأنواع الشائعة من الفجاجات.

يوضحان الفجاج ذا القرص المفرد لفتح الأخدود. وقد استخدمت الفجاجات الطولية على نطاق واسع مع آلات الزراعة ذات القرص ولاتزال تستخدم حاليًا مع بعض آلات الزراعة الدقيقة. ومايزال استخدام الفجاج القرصي المزدوَّج على نطاق واسع حاليًا مع العديد من آلات الزراعة الدقيقة، سواءً بمفردها أو بإدماجها مع الفجاج الطولي. ففي الزراعة الدقيقة، يجب وضع البذور على مسافات بينية متساوية تمامًا وكذلك على أعماق متساوية ولهذا تركب عجلات قياس، الشكل رقم (١٩ ,٦)، ملاصقة تقريبًا لكل من الفجاج ونقطة تحرير البذرة وذلك لضمان التحكم في انتظام عمق الزراعة. واستخدمت أداة على شكل حرف (V) للتحكم أكثر في شكل الأخدود، ومقطعه مما يُقلل من ارتداد البذرة إلى الحد الأدنى، الشكلان رقما (٢٠ ,٦أ)، (٢٠ ,٦ب). بعد وضع البذور، قد تُستخدم أقراص تغطية، الشكل رقم (٢٠ ,٦جـ) أو مكشطة لقفل الأخدود. وقد تُستخدم عجلة ضاغطة، الشكل رقم (٢٠ ,٦د) لكبس التربة وذلك لضمان انتقال الرطوبة إلى البذرة بشكل جيد. وبالتبادل يمكن إتمام كل من التغطية وكبس التربة بواسطة مجموعة من عجلات كبس التربة، الشكل رقم (١٩ ,٦) والتي تقوم بتحريك وكبس التربة أفقيًا دون الضغط عليها رأسيًا. وعند استخدام آلة الزراعة في جور، لايفتح أخدود مستمرٌ. بالأحرى، تقوم أوتاد مجرفية الشكل مركبة على العجلة، الشكل رقم (٢١ ,٦) بعمل فتحات أو جور في التربة والتي يتم إسقاط البذور فيها. ثم تقوم العجلة الضاغطة بتغطية البذور.

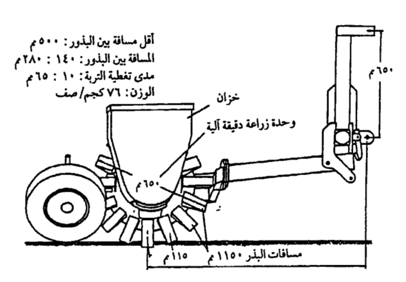


شكل ١٩ ,٦. وحدة كاملة لبذارة دقيقة. (عن: Deere and Co.)



شكل ٦,٢٠. تقنيات تشكيل وقفل الأخدود. (عن: .Case-IH)

تتغلب آلة الزراعة في جور على عدم انتظام المسافات بين البذور الناشيء عن ارتداد البذرة في الأخدود. ويمكن للعجلة المجرفية التدحرج فوق بقايا النباتات أو أي غطاء آخر وكذلك اختراقها. وهي آلة الزراعة الوحيدة التي يمكنها الزراعة خلال الأغطية البلاستيكية التي تستخدم أحيانًا لزراعة المحاصيل ذات القيمة المرتفعة.



شكل ٦,٢١ . آلة الزراعة في جور.

(عن : L. N. Shaw, university of Florida, Gainesville.)

نظرية فتح الأخدود والتغطية. يحدث الجفاف في التربة المحروثة الخالية من النباتات النامية خلال انتقال الرطوبة إلى السطح ؛ ولهذا يزداد المحتوى الرطوبي للتربة بزيادة العمق. وتحتاج البذور الرطوبة للإنبات والنمو، ويزداد انتقال الرطوبة من التربة إلى البذرة بوضع البذور بحيث تتلامس مع التربة الرطبة بتماسك. ولهذا تؤدي زيادة عمق الزراعة إلى انتقال جيد للرطوبة إلى البذور. ويعتبر اختيار العمق المثالي للبذرة عملية لها شأنها بين العوامل المهمة للإنبات ومما لاشك فيه أن الزراعة الضحلة تُعد مفضلة بسبب عاملين ؛ الأول : هو أن التربة تكون عادةً أكثر دفئًا قرب السطح وقت الزراعة، والتربة الدافئة تعجل من إنبات البذور. الثاني : هو أنه قد لاتكون للبادرة قوة كافية لاختراق التربة إذا زرعت البذرة عميقة جداً في تربة متماسكة. ولهذا، يوجد عمق مثالي للزراعة يختلف باختلاف المحصول وعوامل أخرى (Morris and Gerik, 1985). والأعماق النموذجية للزراعة هي : الذرة من ٤٠ إلى ٦٥ م، القطن من ٢٥ إلى ٥٠ م، بذور النجيل من ٥ إلى ١٠ م، الذرة السكرية من ١٩ إلى ٢٥ م، فول الصويا من ٢٥ إلى ٥٠ م، القمح من ٢٥ إلى ٥٠ م. ولايتناول هذا الكتاب النظرية المتعلقة بعلاقة التربة بالبادرة، ولكن يمكن للقارىء

الرجوع إلى عدد من الدراسات المنشورة لعدد من الباحثين الذين درسوا هذه العلاقات((Stapleton and Meyers, 1971) و (Vaughn and Bowen, 1977) و (Phene et al., 1978) و(Goyal et al., 1980)).

أداء آليات فتح الأخدود والتغطية. المعيار الأكثر أهمية للحكم على نجاح آليات فتح الأخدود والتغطية هو نسبة إنبات البذور التي تمت زراعتها في الأخدود. ونظراً لاختلاف نسبة الإنبات باختلاف نوع التربة وعوامل المناخ والتي تختلف من عام لآخر، لايمكن الحكم على تأثير أي آلية معينة على اختراق البذور بناء على معلومات موسم واحد. وعلى كل حال، توجد معايير أداء أخرى والتي يمكن الحكم عليها بناء على اختبارات أخرى محدودة. ويستخدم العديد من المزارعين حاليًا تقنيات حراثة تترك بقايا المحصول على سطح التربة لتقليل تعريتها. ويجب أن يكون للفجاجات القدرة على القطع خلال تلك البقايا. فالفجاجات القرصية أفضل بكثير من الفجاجات الطولية، الشكل رقم (٦,١٨)، في قطع البقايا التي على سطح التربة. إضافة إلى ذلك، يمكن الحاق أقراص مسنَّنة خاصة أمام الفجاجات لتنظيف المسار خلال بقايا النبات. فقدرة آلة الزراعة على الحفاظ على عمق الزراعة المنتظم المرغوب فيه هو معيار هام يمكن تقييمه باستخدام اختبارات قصيرة.

٦,٢,٤ الشتل

آليات شتل البادرات. يشتمل نظام التلقيم الناجح على العناصر التالية:

١ ـ زراعة البذور في مراقد للبذور أو صواني البيوت المحمية.

٢ ـ إزالة الشتلات من مراقدها مع أو بدون التربة حول الجذور.

٣ ـ تخزين الشتلات مفردة في وعاء على آلة الشتل.

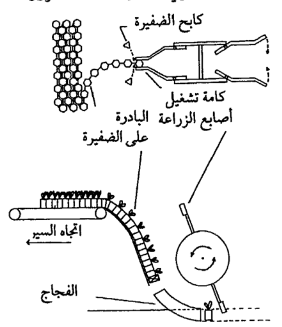
٤ ـ تغذية الشتلات إلى آلية الزراعة واحدة في كل مرة.

٥ ـ فتح أخدود أو جورة لوضع الشتلات.

٦ ـ كبس التربة حول جذور الشتلات.

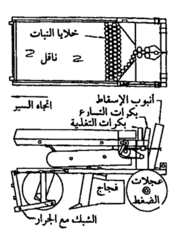
العنصران رقما ١، ٢ لايمثلان جزءاً من آلة الشتل، ويمكن إجراؤهما بعمالة مكثفة، وإذا كان النظام ناجحًا، فيجب ترتيب هذين العنصرين في الأهمية مع

تصميم آلة الشتل. وتشتمل آلة الشتل نفسها على العناصر أرقام من ٣ إلى ٦ ويمكن أن تشتمل أيضًا احتياطات خاصة لري وتسميد الشتلات المزروعة حديثًا.



شكل ٦,٢٢. آلية شتل ذات نظام تغذية من نوع العجلة الحرة (ferris-wheel)
(عن: .Suggs et al., 1987)

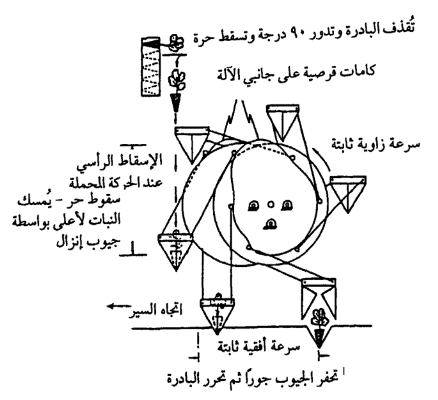
في آلات الشتل القديمة، الشكلان رقما (٦,٥) و(٦,٦)، تم فقط مكننة العنصرين رقمي ٥ و ٦، وتم تركيب مقعد أو أكثر على آلة الشتل لجلوس العمال لإتمام العنصر رقم ٤. يعني الشتل الآلي وجود نظام يقوم بتأدية العنصر رقم ٤ بطريقة آلية (Brewer, 1988). طريقة واحدة مشجعة هي زراعة الشتلات في جيوب ورقية ملحقة بضفائر مطوية على شكل حرف (z)، وعندما تكون الشتلات جاهزة تُحمل داخل حامل على الشتالة. يبين الشكل رقم (٦,٢٢) آلة شتل من نوع العجلة الحرة-ferris) (wheel والتي تقوم فيها الماسكات المعلقة على العجلة بمسك كل خلية (جزء من الضفيرة تحتوي على شتلة واحدة)، فتنتزع الشتلة من الضفيرة وتحملها إلى نقطة تحريرها داخل الأخدود. يقوم كابح الضفيرة بمسكها بحيث تقتلع خلية واحدة فقط بعيدًا بواسطة كل ماسك. آلة الشتل ذات أسطوانة التغذية والموضحة في الشكل



شكل ٦,٢٣. آلية منظومة التغذية ذات الأسطوانة. (عن: Suggs et al., 1987.)

رقم (٦,٢٣) تستخدم أيضًا ضفائر مطوية على شكل حرف (z) لتخزين الشتلات. ويقوم زوج من أسطوانات التغذية بتغذية الضفيره داخل زوج من العجلات التي تكتسب سرعتها بتسارع كبير والتي تقوم بانتزاع الخلايا بعيداً واحدة تلو الأخرى وتُسقطها في أنبوب الإسقاط. تسقط الشتلات خلال الأنبوب إلى الأخدود. يمكن استخدام زوج من عجلات الكبس، انظر الشكل رقم (٦,١٩)، لضغط التربة لاحقًا لقفل الأخدود وكبس التربة حول جذور الشتلات. الخلايا الورقية قابلة للتحلل تاركة فقط الشتلات التي تمت زراعتها. وتعتمد آلات الشتل في إنتاجها بشكل تجاري على الأساسيات المبينة في الشكلين رقمي (٦,٢٢) و (٦,٢٣)، (Sugges et al., 1987).

آلات الشتل التجريبية (أو المستخدمة لإجراء التجارب) (Munilla and Shaw, 1987) والمُبينة في الشكل رقم (٦,٢٤) تشبه آلة الزراعة المجرفية في أنها لا تتطلّب أخدوداً. بالأحرى، تحفر جيوب الشتلات جوراً في التربة وتضع شتلة في كل جورة. ويوصل كل جيب محورياً إلى زوج من الأذرع بحيث تظل قمة كل جيب أفقية. ويوصل الذراعان محورياً من نقطة منتصفهما لأقراص دوارة بحيث تتحرك نقاط منتصف الأذرع في مسارات دائرية. النهاية المتبقية لكل ذراع تتبع كامة شكلت



شكل ٦,٢٤. آلة شتل تجريبية من نوع الحفار. (عن: .Munilla and Shaw,1987)

خصيصًا للتحكم في حركة الجيوب. ويجب إدارة الأقراص الدوارة عن طريق عجلة الأرض بحيث ترتبط حركة الجيوب آليًا مع الحركة الأمامية لآلة الشتل. وتشكل الكامات بحيث تسبب نزول الجيوب بسرعة أفقية مساوية للصفر بالنسبة للأرض. تسقط الشتلات المحررة من الحامل رأسيًا داخل جيوب نازلة. وكلما دخلت الحفارات للتربة، تتسبب الكامات في أن تستمر الحفارات في التحرك بسرعة مساوية للصفر بالنسبة للأرض. وقبيل أن يرتفع الحفار من التربة، يُفتح الجيب من عند القاع لتحرير الشتلة في الجورة. ويُقفل الجيب أثناء ارتفاعه لاستقبال الشتلة التالية، وبهذا يكون قد أكمل الدورة.

نظرية آلات الشتل. كما تقوم آلات الزراعة الدقيقة بتلقيم البذور مفردة، تقوم آلات الشتل بزراعة شتلات مفردة. ولهذا تسري المعادلة رقم (٦,٤)

على آلات الشتل إذا حلّت كلمة شتلات محل كلمة بذور. والعامل المُحدد لسعة آلات الشتل هو معدل التغذية، أو بمعنى آخر، هو المعدل الذي يتم به تغذية الشتلات إلى آلة الشتل. والمعدل المطلوب للتغذية هو:

$$R_{st} = 60\, v\, x_s\, \lambda_r \qquad (٦,٢١)$$

حيث:

R_{st} = معدل التغذية المطلوب للشتلات، شتلة/ د

v = السرعة الأمامية لآلة الشتل، م/ ث

x_s = المسافة بين الشتلات في الصف، م

λ_r = عدد الصفوف التي تزرعها آلة الشتل في الوقت نفسه.

يجب استخدام نظرية الحركة عند تصميم آلات الزراعة بالشتل الموضحة في الأشكال أرقام (٦,٢٢)، (٦,٢٣)، (٦,٢٤). ففي الشكل رقم (٦,٢٢)، يجب أن تُقفل الماسكات وتُفتح في الأوقات المناسبة لإمساك خلية الشتلة، وتوصيلها للأخدود وتحريرها داخله. يجب أن تقوم بكرتا التسارع في الشكل رقم (٦,٢٣) بنزع الخلية وتوصيلها لأنبوب الإسقاط. ونظرية الحركة لهذه الآلات ليست من ضمن أهداف هذا الكتاب. فمن أجل التحليل الكامل لحركة آلة الزراعة بالشتل المبينة في الشكل رقم (٦,٢٤)، على القارىء الرجوع إلى الورقة المنشورة من قبل (Munills and shaw, 1987).

أداء الشتّالات. تعاني الشتلات من التلف الوظائفي عند تعرض جذورها للهواء كجزء من عملية الشتل. يمكن منع الصدمات لتلك البادرات بزراعتها في أوراق، أنسجة نباتية، أو أي حاويات للمحللات الإحيائية، التي يمكن زراعتها مع الشتلات. وللحصول على سعة مقبولة، يجب أن يكون معدل التغذية لآلات الشتل، المعادلة رقم (٦,٢١)، ١٠٠ شتلة/ د على الأقل. وقد شوهدت سعات تغذية حتى ١٤٠ شتلة/ د. وتتراوح السرعات الأمامية القصوى من ٠,٩ إلى ١,٨

م/ ث. لمعدل تغذية مقداره ١٠٠ شتلة/ د، ويعمل هذا المدى من السرعات على جعل المسافات بين الشتلات تتراوح بين ٠,٩٣ و ١,٨٥ م للآلة ذات الصف الواحد، أو ضعف هذه المسافات للآلة ذات الصفين. ولمعدل تغذية معطى، يمكن تقليل المسافة بين الشتلات فقط بتقليل سرعة السير. ولهذا، ومن أجل الحصول على مسافات معقولة بين الشتلات، يحدد معدل التغذية بوضوح مقدار الحد الأقصى المسموح به للسرعات الأمامية لآلة الشتل. ميزة آلة الشتل الحفارة المبينة في الشكل رقم (٦,٢٤) هو إمكانية تغيير المسافة بين الشتلات فقط إذا تم تغيير شكل الكامات.

أحد معايير الأداء الهامة لآلات الزراعة بالشتل هو أنه يجب أن تكون الشتلات مواجهة للشرق بشكل مناسب و تتلامس جيداً مع التربة. عُرِّفت الزراعة الناجحة بأنها التي تميل فيها الشتلات على الرأسي بزاوية أقل من ٣٠°، (Munills and shaw, 1987). وتسمح آلات الزراعة بالشتل الموضحة في الشكلين رقمي (٦,٢٣) و (٦,٢٤) للشتلات بالسقوط بحرية لفترة من الوقت. ففي آلة الشتل الموضحة في الشكل رقم (٦,٢٤) تصطدم الشتلة بالجيب النازل ويجب تقليل الاصطدام إلى الحد الأدني لمنع تلف المجموع الجذري. بسبب سقوط الشتلة في جيب نازل، يمكن الحصول على صدمات متناظرة لمسافة سقوط حر مقدارها ٥٠ م فقط. وعند سقوط الشتلة داخل أخدود معد بشكل مناسب، يمكن أن يكون التصادم مفيداً لإعطاء تلامس أكثر جوهرية بين المجموع الجذري للشتلة والتربة في الأخدود. وتُستخدم عجلات كبس التربة عادة مع هذه الآلات لتحسين تلامس التربة مع الجذور.

٦,٣ تقييم أداء آلة الزراعة والشتالة

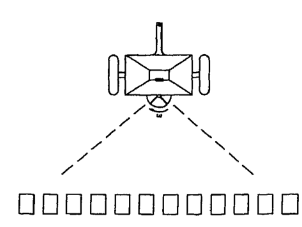
يعتبر معدل التطبيق من العوامل الهامة لتقييم أي آلة زراعة، وإضافة إلى ذلك، يكون انتظام وضع البذور أو الشتلات هامًا. المواصفة القياسية العالمية (ISO) رقم ٧٢٥٦، معدات الزراعة، طرق الاختبار، تُعطي إرشاداً مفصلاً لتقييم أداء آلة الزراعة. المعادلات الإحصائية في هذا الجزء مأخوذة من المواصفة القياسية العالمية (ISO) رقم ٧٢٥٦.

٦,٣,١ آلات الزراعة بالنثر

تقوم آلات الزراعة بالنثر بتوزيع البذور فوق سطح التربة. ويحتاج عاملان من عوامل الأداء إلى تقييم. الأول هو دقة التلقيم والثاني هو انتظام التوزيع.

يجب معايرة آلات الزراعة للسماح لمشغل الآلة بتطبيق معدلات البذر المرغوبة. ويمكن إعداد المخططات البيانية للمعايرة بالاعتماد على المعادلتين رقمي (٦,١) و (٦,٢). ويتطلَّب الأمر مخططًا بيانيًا منفصلاً للتأثير المزدوج لكل من نوع البذرة وسرعة السير. فإن تحديد كل من نوع البذرة وسرعة السير يُحدد قيم كل من (ρ_s) و (v) في المعادلة رقم (٦,١). ويمكن استخدام المعادلات من رقم (٦,٦) إلى رقم (٦,١٧) لتقدير عرض المسار. ولكن، لدقة أفضل، يجب قياس عرض المسار تجريبيًا. بتثبيت قيم كل من (ρ_s)، (w)، (v)، سوف يختلف معدل الزراعة بالتناسب مع (Q)، المعادلة رقم (٦,١). وسوف تختلف (Q) بالتناسب مع مساحة الفتحة، المعادلة رقم (٦,٢). حيث يجب وضع ذراع التحكم في مساحة الفتحة بالقرب من مقياس عددي، الشكل رقم (٦,٧)، للسماح بإعادة ضبط أوضاعها. ويمكن أن تحتوي المخططات البيانية للمعايرة على القيم العددية للمقياس. وبالرغم من أنه يمكن استخدام المعادلة رقم (٦,٢) لتقدير معدل حجم التدفق، فإنه للحصول على دقة أكثر، يقاس معدل التدفق بشكل تقريبي وذلك بجمع حجم معلوم من البذور المنصرفة خلال الفتحة وقياس الزمن اللازم لجمعه. يجب إعادة القياسات لعدة فتحات مختلفة للحصول على علاقات ثم التحقق منها تجريبيًا بين كل من أوضاع الفتحة ومعدل التدفق لكل نوع من أنواع البذور.

لتقدير انتظام توزيع البذور، يمكن افتراض وجود متغير عبر عرض المسار. المواصفة القياسية رقم (S341.2) والمعدة من قبل الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين (ASAE) لقياس انتظامية المسار عند نثر المواد الحبيبية توفر إرشادات لتقييم آلات الزراعة بالنثر. ولتقدير انتظام توزيع البذور عبر المسار، يوضع صف من الصواني الضحلة عبر المسار وتفرغ البذور من آلة النثر في الصواني، الشكل رقم (٦,٢٥). إذا كانت (q_i) هي كمية البذور المتجمعة في الصينية رقم (i) وكان عدد الصواني (n_t)، يمكن استخدام المعادلات التالية لتحديد انتظام التوزيع:



شكل ٦,٢٥. تقييم انتظام التوزيع لآلة الزراعة بالنثر.

$$\bar{q} = \sum_{i=o}^{i=\lambda_t} q_i \qquad (٦,٢٢)$$

$$sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=o}^{i=\lambda_t}\left(q_i - \bar{q}\right)^2}{\lambda_t - 1}} \qquad (٦,٢٣)$$

$$CV = \frac{100\,sd}{\bar{q}} \qquad (٦,٢٤)$$

حيث:

q_i = كمية البذور في الصينية رقم (i) ، كتلة أو حجمًا

λ_t = عدد الصواني

$\bar{q}$ = متوسط الكميات المتجمعه في الصواني

sd = الانحراف المعياري لكميات البذور في الصواني

CV = معامل الاختلاف، نسبة مئوية.

أبسط طريقة لاختبار انتظام نمط ما، هو بتسيير آلة الزراعة عبر صف الصواني

وهي في حالة تشغيل. ونظراً لميل القرص المغزلي لترسيب البذور على نمط دائري حتى تبدأ الآلة الحركة للأمام، فإنه من الضروري التأكيد على أن نمطًا كاملاً قد مر فوق صواني البذور قبل قياس الكميات المتجمعة بها. معامل الاختلاف (CV) للتوزيع المنتظم تمامًا يجب أن يكون مساويًا للصفر. و يمكن أن يتراوح معامل الاختلاف لآلات نثر البذور المصممة جيداً من ٢٠ إلى ٣٠٪. ونظراً لأن آلات نثر البذور لايمكنها إعطاء نمط للتوزيع على شكل مستطيل، الشكل رقم (١٧ , ٦)، فإنه من المناسب حساب معامل الاختلاف اعتماداً على الانتظام الناتج عن المسارات المتعددة للآلة والمتداخلة بشكل مناسب.

٦,٣,٢ آلات التسطير

يحتاج كل من معايرة وانتظامية توزيع آلات التسطير إلى تقييم. خطوات معايرة آلات التسطير تُشبه خطوات معايرة آلات نثر البذور فيما عدا أن (w) تساوي المسافة بين الصفوف. وعلى الرغم من أنه يمكن استخدام المعادلة رقم (٣ , ٦) لتقدير معدل التدفق الحجمي، ولكن لدقة أكثر يتم قياس معدل التدفق تجريبيًا بتجميع حجم معلوم من البذور المفرغة خلال كل وحدة تلقيم وقياس الزمن اللازم لتجميع هذا الحجم. يجب إعادة القياسات لعدة خلايا ذات أحجام مختلفة وذلك لرسم المخطط البياني للمعايرة. ويمكن التأكد من الانتظامية بالاختبار الثابت في المعمل بوضع عجلات إدارة آلة التسطير فوق جهاز إحداث الحركة الدائرية، ووضع صينية تجميع تحت كل أنبوب إسقاط، وتشغيل آلة التسطير لفترة زمنية محددة لتجميع البذور في كل صينية. ثم، إذا كانت (q_i) هي كمية البذور المتجمعة في الصينية (i)، يمكن استخدام المعادلات أرقام (٢٢ , ٦)، (٢٣ , ٦) و (٢٤ , ٦) لحساب معامل الاختلاف كمؤشر للانتظامية. ويمكن تقدير الانتظامية اعتماداً على مشوار واحد لآلة التسطير طالما أن الأنماط غير متداخلة على نحو مألوف. ويمكن تقدير تلقيم البذور بالتحليل الكمي، ولكن يمكن تقدير عناصر الأداء الأخرى بالتحليل النوعي. وتعتبر قدرة الفجاجات على القطع خلال سطح التربة الذي علية بقايا نباتية لعمل الأخدود مثالاً على التحليل النوعي.

٦,٣,٣ آلات الزراعة الدقيقة

تصمم آلات الزراعة الدقيقة لتلقيم بذرة واحدة في كل مرة ولوضع البذور في الأخدود على مسافات بينية مرغوبة. تعتبر الاختبارات الثابتة تطبيقًا شائعًا للتأكد معمليًا من دقة التلقيم. توضع عجلات إدارة آلة التسطير فوق جهاز إحداث الحركة الدورانية وتُدار على سرعة مماثلة للسرعة الحقلية المرغوبة. ويتم شد جهاز تجميع بذور ممتد تحت أنابيب الإسقاط عند نفس سرعة السير. ويجب أن يكون لجهاز التلقيم القدرة على أخذ البذور عند خروجها من أنبوب الإسقاط، في تقنية اللوحة المُشحمَّة، حيث يوضع شحم لاصق على لوحة يتم شدها تحت أنابيب الإسقاط. ويمنع الشحم البذرة من الارتداد وذلك بمسكها عند خروجها من آلة التسطير. يمكن تقدير المسافة بين البذور على اللوحة المشحمة، إما يدويًا أو بواسطة عداد آلي. ويمكن إيجاد عدد القفزات أو التعددية وذلك بالملاحظة. تحدث القفزة عندما تفشل الخلية في تصريف البذرة إلى أنبوب الإسقاط. بينما تحدث التعددية عندما تصرف الخلية أكثر من بذرة واحدة. يمكن بيان كل من القفزات والتعددية كنسبة من العدد الكلي للخلايا التي مرت على نقطة الإسقاط أثناء الدورة. بعد حذف القفزات والتعددية من البيانات، يمكن حساب متوسط المسافة بين البذور باستخدام البيانات المتبقية ويمكن مقارنة هذا المتوسط بالمتوسط المرغوب للمسافة بين البذور. أخيراً، يمكن حساب معامل اختلاف المسافات بين البذور (Cv) باستخدام المعادلات أرقام (٦,٢٢)، (٦,٢٣) و (٦,٢٤). يتحقق التلقيم التام عندما لاتكون هناك قفزات أو تعددية، يكون معامل الاختلاف للمسافات بين البذور مساويًا للصفر وتكون المسافات بين البذور مساوية للمسافات المرغوبة بينها.

من الاعتبارات الهامة في الزراعة الدقيقة كل من انتظام عمق الزراعة وكبس التربة حول البذور ويتم تقديرهما خلال التجارب الحقلية. (Futral and Verma, 1973) اقترحا، مثاليًا، أنه يجب وضع البذور في خندق ضيق بعرض منتظم له قاع متماسك. فيجب تغطية بذور العديد من المحاصيل بحوالي ١٢ م من التربة المضغوطة ويجب ملء بقية الأخدود بتربة مُفككَّة. وتساعد التربة المضغوطة على انتقال الرطوبة لإنبات البذرة، بينما تُثبط التربة المفككَّة من انتقال الرطوبة

وفقدها خلال سطح التربة. ويمكن قياس انتظام العمق بالحفر بحذر لكشف البذور المزروعة. ويتم تسجيل ملاحظات أخرى مثل كل من قدرة الفجاجات على القطع خلال الأسطح ذات البقايا وكذلك درجة كبس التربة حول البذور.

٤, ٣, ٦ الشتالات

لاتزال الشتالات التلقائية في مراحلها الأولى ولهذا لم توضع خطوات لتقييمها بشكل جيد. وطالما أن الشتلات تزرع في صفوف ويرغب في أن تكون المسافات بينها منتظمة، فيمكن استخدام المعادلات أرقام (٢٢ , ٦)، (٢٣ , ٦) و (٢٤ , ٦) أيضًا لتحديد قدرة الآلة على إعطاء المسافات المرغوبة وانتظام المسافات البينية. وفي تشابه جزئي مع آلات الزراعة الدقيقة التي تزرع البذور مفردة، يكون حدوث التعددية هو أمر بعيد الاحتمال أثناء الشتل. بينما يمكن أن تحدث قفزات إذا أضرت آلية التلقيم بالشتلة أو فشلت في وضعها بالأخدود. ففي الشتل الناجح، يجب زراعة الشتلات بحيث تميل سيقانها بزاوية على الرأسي، مثلاً ١٥°. وبقياس هذه الزوايا لعدد من النباتات، يمكن تسجيل الزاوية المتوسطة والانحراف المعياري. وقد يكون عمق الزراعة هامًا أيضًا، فإذا كانت الشتلات منتظمة، يمكن تقدير عمق الزراعة بقياس طول البادرة فوق سطح التربة وطرحه من الطول الكلي لها. ومن الأمور التي يجب وضعها في الاعتبار أيضاً هو تداول آلة الشتل للشتلات برفق. قد يكون من الصعب التحديد الكمي لتداول الشتلات برفق، إلا من خلال دراسة معدل الشتلات التي بقيت حية. باستخدام معدلات الشتلات التي بقيت حية لمقارنة آلات الزراعة بالشتل، فإنه من المهم التأكيد على أن يتم تقييم كل الآلات تحت نفس الظروف البيئية، حيث يمكن أن تؤثر الرطوبة، ودرجة الحرارة وعوامل أخرى على معدلات الشتلات التي بقيت حية بشكل ملحوظ.

تمارين على الفصل السادس

١ , ٦ آلة لنثر البذور بالطرد المركزي قادرة على زراعة أي من المحاصيل الست الأولى في الجدول رقم (١ , ٦) على المعدل الأقصى وذلك أثناء سيرها بسرعة أمامية ١٦ كم/ ساعة وبعرض نثر ١٠ م، (أ) ماهو أكبر معدل تدفق للبذور يكون مطلوبًا خلال فتحة التلقيم؟ (ب) احسب الأبعاد المطلوبة للفتحة إذا كان شكلها مربعًا عند فتحها للحد الأقصى. (جـ) يجب على الآلة أيضًا إعطاء أقل معدل تدفق مطلوب لأي من المحاصيل الست بالجدول. احسب أقل معدل تدفق بفرض عدم تغير كُل من السرعة وعرض النثر. (د) بفرض تقليل مقاس الفتحة وذلك بتغطيتها جزئيًا بحيث يصبح شكلها مستطيلاً، احسب أبعاد الفتحة المستطلية لإعطاء معدل تدفق الفقرة (جـ).

٢ , ٦ كما جاء في التمرين رقم (١ , ٦)، فيما عدا أن الزراعة تتم باستخدام آلة تسطير. المسافة بين الصفوف ١٨ , ٠ م وسرعة السير ٧ كم/ س. تلقم البذور باستخدام أسطوانة مموَّجة ذات ١٢ خلية على محيطها، انظر الشكل رقم (٨ , ٦). (أ) ماهو أكبر معدل تدفق للبذور يجب تصريفه من كل أسطوانة مموَّجة للحصول على أكبر معدل بذر كما جاء في التمرين رقم (١ , ٦)؟ (ب) ماهي السرعة التي يجب أن تُدار بها الأسطوانة المموَّجة لتصريف هذا المعدل إذا كان أقصى حجم للخلية الواحدة ١٥٥ م^{٣}؟ (جـ) بافتراض أن سرعة الأسطوانة المموَّجة هي نفسها لكل أعمال البذار، ما هو طول الجزء الذي يجب تغطيته من طول الأسطوانة المموَّجة للحصول على أقل معدل تدفق كما جاء في التمرين رقم (١ , ٦)؟

٣ , ٦ كما جاء في التمرين رقم (٢ , ٦)، فيما عدا أن القمح هو المحصول الذي يتم تسطيره.

٤ , ٦ كما جاء في التمرين رقم (٢ , ٦)، فيما عدا أن فول الصويا هو المحصول الذي يتم تسطيره.

٥ , ٦ يُرغب في زراعة بذور فول الصويا باستخدام آلة زراعة دقيقة تلقم ٥٤ بذرة لكل لفة من قرص التلقيم، عرض الصف ٧٥ , ٠ م وسرعة آلة الزراعة ٧ كم/ س. يُرغب في كثافة نباتية مقدارها ٤٨٠٠٠٠ نبات لكل هكتار. احسب (أ) معدل البذار المطلوب بافتراض أقل نسبة إنبات من الجدول رقم (١ , ٦)، (ب) المسافة المطلوبة

بين البذور في الصف، (جـ) السرعة المطلوبة لدوارن جهاز التلقيم . إذا كان نصف قطر عجلة الآلة ٠,٣٨ م، احسب أيضًا (د) سرعة دوران عجلات الآلة بافتراض انزلاق ١٠٪، (هـ) نسبة سرعة قرص التلقيم إلى سرعة عجلة الآلة .

٦,٦ كما جاء في التمرين رقم (٦,٥)، فيما عدا أن المحصول الذي تتم زراعته هو الذرة بكثافة نباتية ٥٠٠٠٠ نبات/ هكتار وأن جهاز التلقيم يُلقم ١٢ بذرة/ لفة .

٦,٧ تُستخدم آلة زراعة هوائية كالمبينة في الشكل رقم (٦,١٢) لزراعة فول الصويا . تتوفر أسطوانات بفتحات عددها لكل صف ٢٤، ٣٦، ٧٢، ٩٦، ١٤٤، ٢٤٠ وتدور بسرعة ٣٥ لفة/ د. فإذا كانت سرعة سير الآلة ٢ م/ ث والمسافة بين الصفوف ٠,٧٥ م، احسب : (أ) المسافة بين البذور، (ب) معدل البذر النظري بوحدات بذرة/ هكتار لكل من الأسطوانات المتوفرة . (جـ) من بيانات الجدول رقم (٦,١) احسب المدى الطبيعي لمعدلات البذر بوحدات بذرة/ هـ. (د) أي الأسطوانات يجب استخدامها لإجراء هذه الزراعة؟ بمعنى آخر ماهو عدد الفتحات التي يجب توفرها بالأسطوانة .

٦,٨ كما جاء في التمرين رقم (٦,٧)، فيما عدا أن المحصول الذي تتم زراعته هو الذرة .

٦,٩ جاري تصميم آلة لنثر البذور بالطرد المركزي مشابهة لتلك المبينة في الشكل رقم (٦,١٥). المواصفات المعلومة للقرص المغزلي هي :

r_i = ٠,٠٥ م

f = ٠,٢٨

δ = ٠,٢٠ ز

α = ٠,٢٥ ز

ω = ٥٠ ز/ث

r_o = ٠,١٥ م

(أ) احسب زاوية دوران القرص التي تظل فيها البذور في تلامس انزلاقي معه (لاحظ أن الزاوية تحدد أيضًا موقع البوابة إذا كانت البذرة ستترك القرص عند النقطة الموضحة في الشكل رقم (٦,١٥))، (ب) سرعة البذور بالنسبة للريش على الحافة

الخارجية للقرص، (جـ) السرعة المماسة للقرص، (د) المركبة الأفقية للسرعة (v_{hr})، (هـ) مركبة السرعة (v_g) لأعلى بالنسبة للقرص وذلك عند ترك البذرة للقرص، (و) على أي سرعة أمامية (v_g) سوف تكون السرعة المطلقة للبذرة متعامدة على اتجاه سير الآلة.

جدول رقم ٦,١. البيانات النموذجية بالجدول هي لأغراض تصميم آلات الزراعة، يمكن أن تختلف خواص البذرة عن القيم المُدرجة بالجدول حسب الأصناف، ظروف الزراعة، ....إلخ.

المحصول	الكثافة الكُتلية كجم/ لتر	الكثافة العددية بذرة/ لتر	معدل الإنبات (٪)	معدل البذار كجم/ هـ	متوسط القطر * (م)	كثافة البذرة كجم/ م³	السرعة الحدية (م/ ث)¤
البرسيم الحجازي	٠,٧٧	٣٣٩٠٠٠	٧٢-٩٤	٨ - ١٣	١,٥٣	١١٨٤•	٥,٦٩
البرسيم السكري	٠,٧٧	٤٤١٠٠٠	٧٣-٩٤	٧ - ١١	١,٤١§	١١٨٤•	٥,٣٩
البرسيم الأحمر	٠,٧٧	٤٤٦٠٠٠	٧٣-٩٤	٧ - ١١	١,٤١§	١١٨٤•	٥,٣٩
نجيلة المكانس	٠,١٨	٥٣٨٠٠	٥٣-٨٦	١٧ - ٢٢	٢,٠٨	٥٥٠•	٤,٥٥
نجيلة البساتين	٠,١٨	٢٥٩٠٠٠	٥٣-٨١	٩ - ١١	١,٥٩	٤٤٠•	٣,٣٧
العكرش الطويل	٠,٣١	١٥٤٠٠٠	٦٨-٩٢	١٣-١٧	١,٨٢	٤٣٠•	٤,٦٤
القمح	٠,٦٨	٢٢٥٠٠	٨٠-٩٧	١٠٠	٤,١٠	١١٢٠	٩,٨١
الذرة الرفيعة	٠,٦٤	٢١٢٠٠	٦٧-٧٧	٣ - ٦	٣,٨٨§	٩٨٥•	٨,٩١
فول الصويا	٠,٧٧	٥١٠٠	٨٥-٨٩	٥٠ - ٩٠	٦,٧٦	١١٧٦	١٣,١١
الذرة	٠,٧٢	٢٣٧٠	٨٥-٩٥	١٠ - ١٥	٧,٢٩	١١٧٠	١٣,٦١

* متوسط الخواص الهندسية (الطول - العرض ـ العمق)^٠,٣٣٣

¤ سرعة السقوط الطرفية المحسوبة في هواء ساكن ودرجة حرارة ٢٠° وضغط ١٠٠ ك. بسكال

• قيم مقدرة

§ محسوبة بناء على الكثافة الكتلية، عدد البذور وكثافة البذرة.

١٠ , ٦ كما جاء في التمرين رقم (٩ , ٦)، فيما عدا أن معامل الاحتكاك يساوي ٠,١٥.

٦,١١ كما جاء في التمرين رقم (٦,٩)، فيما عدا أن سرعة القرص هي ٤٠ ز/ث.

٦,١٢ كما جاء في التمرين رقم (٦,٩)، فيما عدا أن الزاوية (δ) تساوي صفراً.

٦,١٣ كما جاء في التمرين رقم (٦,٩)، فيما عدا أن الزاوية (α) تساوي صفراً.

٦,١٤ يمكن استخدام المعادلة رقم (٦,١١) لحساب السرعة الطرفية للبذرة، بمعنى آخر، قيمة سرعة السقوط التي تعطي تسارعًا رأسيًا مقداره صفر عندما تكون السرعة في الاتجاه الأفقي مساوية للصفر. نموذجيًا، يكون كل من السرعة الحدية ورقم رينولد للبذور كافيًا جداً لاستخدام المعادلة رقم (٦,١٣) لحساب معامل مقاومة الهواء ويجب أن يُجرى الحل بالتكرار لإيجاد قيمة السرعة الطرفية. باستخدام بيانات من الجدول رقم (٦,١)، استخدم المعادلتين رقمي (٦,١١) و (٦,١٣) للتأكد من صحة السرعات الحدية المسجلة، أو بمعنى آخر، للتأكد من أنها تعطي تسارعات رأسية صغيرة يمكن إهمالها.

٦,١٥ تحتاج حسابات مسار المقذوف قيمة معامل مقاومة الهواء. يمكن حساب معامل مقاومة الهواء من رقم رينولد باستخدام المعادلة رقم (٦,١٢) أو المعادلة رقم (٦,١٣)، ولكن لاحظ أن رقم رينولد يتغير بتغير سرعة البذرة. تبدأ البذرة في فقد سرعتها عند نقطة تحررها من آلة النثر، عند أي نقطة يمكن أن تكون سرعتها ١٥ م/ث أو أكثر، ولكنها لاتقل أبداً عن سرعتها الحدية. ولهذا، لكل من البذور المدرجة بالجدول رقم (٦,١). (أ) احسب رقم رينولد وارسمه بيانيًا مع سرعة البذرة وذلك لسرعات تبدأ من ١٥ م/ث وتقل حتى تصل إلى السرعة الحدية. (ب) احسب أيضًا لكل بذرة وارسم بيانيًا معامل مقاومة الهواء مقابل السرعة. (جـ) لاحظ أن معامل مقاومة الهواء سوف يختلف كلما تحركت البذرة خلال مسارها. لكل بذرة، قدّر الإرتفاع المتوسط لمنحني البذرة، أو بمعنى آخر، أفضل قيمة لمعامل مقاومة الهواء خلال المسار الكامل للبذرة.

٦,١٦ افترض أن آلة لنثر البذور بالطرد المركزي تحرر بذور البرسيم الحجازي على ارتفاع ٠,٩ م وسرعة أولية أفقية ٩ م/ث، احسب: (أ) زمن حركة البذرة في الهواء. (ب) مسافة السير الأفقية. استخدم بيانات الجدول رقم (٦,١) ومعامل

مقاومة الهواء من التمرين رقم (١٥ , ٦) لاحظ أن البرسيم السكري والبرسيم الأحمر لهما نفس خواص البرسيم الحجازي ويجب أن يكون لهما نفس المسار.

١٧ , ٦ كما جاء في التمرين رقم (١٦ , ٦)، فيما عدا أنك تُطوِّر برنامج على الحاسب الآلي مبنيًا على المعادلتين رقمي (١٠ , ٦) و (١١ , ٦) لمحاكاة حركة البذرة في الهواء. يجب تصميم البرنامج لقبول البيانات المدخلة التي تسمح لها بمحاكاة مسار أي بذور من المدرجة بالجدول.

١٨ , ٦ كما جاء في التمرين رقم (١٦ , ٦)، فيما عدا أن البذور التي تتم زراعتها هي نجيلة المكانس. لاحظ أن نجيلة البساتين والعكرش الطويل لهما خواص مشابهة لنجيلة المكانس إلى حد ما.

١٩ , ٦ كما جاء في التمرين رقم (١٦ , ٦)، فيما عدا أن البذور التي تتم زراعتها هي بذور الذرة الرفيعة.

٢٠ , ٦ كما جاء في التمرين رقم (١٦ , ٦)، فيما عدا أن البذور التي تتم زراعتها هي بذور فول الصويا.

٢١ , ٦ بعد تحرير البذور من وحدة تلقيم آلة زراعة دقيقة، الشكل رقم (١٤ , ٦)، تسقط خلال أنبوب إسقاط طوله في الاتجاه الرأسي ٦ , ٠ م وينحني للخلف لإكساب البذور الخارجة سرعة باتجاة الخلف بالنسبة للآلة. افترض أن البذور المزروعة هي الذرة. احسب: (أ) الزمن المطلوب لسقوط البذور داخل أنبوب الإسقاط. (ب) السرعة الرأسية للسقوط عند نقطة الخروج من الأنبوب، (جـ) الزاوية (θ_e) المطلوبة لخروج البذور لإكسابها سرعة أفقية مساوية للصفر بالنسبة للأرض، إذا كانت سرعة آلة الزراعة ٢ م/ث. استخدم معامل مقاومة الهواء كما في التمرين رقم (١٣ , ٦).

٢٢ , ٦ كما جاء في التمرين رقم (٢١ , ٦)، فيما عدا أن البذور المزروعة هي فول الصويا.

٢٣ , ٦ كما جاء في التمرين رقم (٢١ , ٦)، فيما عدا أن البذور المزروعة هي الذرة السكرية.

٢٤ , ٦ تُنقل البذور من آلة زراعة هوائية كالمبينة في الشكل رقم (١٢ , ٦) خلال

أنابيب إلى الأخدود. إذا استخدم ضغط مقداره ٤ ك. بسكال في أسطوانة البذور لإكساب البذرة سرعة مقدارها ٣,٥ م/ث عند نقطة الخروج من الأنبوب. وتتحرك الآلة بسرعة أمامية ١٢ كم/س، ماهي الزاوية (θ_t) على الرأسي التي يجب أن يميل بها الأنبوب للخلف لإكساب البذرة سرعة أفقية مساوية للصفر بالنسبة للأرض.

٦,٢٥ كما جاء في التمرين رقم (٦,٢٤)، فيما عدا أن سرعة آلة الزراعة ٨ كم/ساعة.

٦,٢٦ آلة زراعة بالشتل ذات صف واحد تقوم بشتل نباتات الفراولة على مسافات بينية ٠,١٥ م خلال الصف والمسافة بين الصفوف ٠,٧٥ م. (أ) إذا تمكنت آلية التلقيم من تصريف حتى ١٠٠ شتلة/د، ماهي سرعة السير القصوي المسموح بها للآلة؟ (ب) ماهي سرعة السير القصوي المسموح بها إذا كانت آلة الشتل ذات صفين؟ (جـ) احسب المساحة المغطاة (م^2) في الساعة إذا كانت الآلة ذات صف واحد وكذلك ذات صفين. (د) هل هناك أي ميزة لاستخدام الآلة ذات الصفين في هذه الحالة إذا كان بها مغذي واحد لخدمة الصفين؟

٦,٢٧ صف مكوَّن من ١٠ صواني مربعة الشكل، أبعاد كُل منها ١٥ سم × ١٥ سم، صُفت عبر مسار عرضه ٢٠ م لآلة نثر تعمل بالطرد المركزي تزرع البرسيم الحجازي. بعد مرور الآلة وجدت الكميات التالية من البذور (جم) في الصواني من رقم ١ إلى رقم ١٠ على الترتيب: ٢٠,٠، ٣٢,٨، ٣٢,٠، ٣٠,٥، ٢٩,٣، ٢٩,١، ٣٠,٣، ٣١,٥، ٣٢,٧، ٢٣,٥. احسب: (أ) المتوسط، (ب) الانحراف المعياري لها، (جـ) معامل اختلاف كميات البذور في الصواني. (د) احسب أيضًا متوسط معدل البذار خلال المسار بوحدات كجم/هـ.

٦,٢٨ كما جاء في التمرين رقم (٦,٢٧)، فيما عدا أن البذور المزروعة هي نجيلة البساتين، ووضعت صواني أبعادها ١٨ سم × ١٨ سم عبر مسار عرضه ١٤ م. كميات البذور التي جمعت بالصواني هي نفسها المعطاة في التمرين رقم (٦,٢٧).

الفصل السابع

توزيع الكيمياويات
Chemical Application

● توزيع الكيمياويات الجافة ● العمليات الوظيفية ● توزيع الكيمياويات السائلة ● تقييم الأداء ● تمارين على الفصل السابع

مقدمة

إن الغرض من توزيع الكيمياويات الزراعية هو توفير الغذاء للنبات النامي والتخلص من الحشائش، والحشرات، وأمراض النبات.

التوزيع المناسب للكيمياويات الزراعية يكون ضروريًا لإنجاح طرق الزراعة الحديثة. ولقد أصبحت الكيمياويات الزراعية، وعلى مدى الأعوام، أكثر تطوراً وتعقيداً وذات تكلفة مرتفعة. والتصنيف الأساسي للكيمياويات الزراعية يكون على النحو التالي: أسمدة، مبيدات وباقي الكيمياويات المنظمة للنمو. ويعرَّف المبيد على أنه المادة الكيمياوية القاتلة للآفات. ويمكن تعريف الآفات على أنها حشائش، فطريات، حشرات، . . . إلخ. وعلى ذلك، فإن المادة الكيمياوية القاتلة للحشائش تسمى باسم مبيدات الحشائش. وتسمى المادة الكيمياوية القاتلة للفطريات باسم مبيدات الفطريات. وقد تكون هذه الكيمياويات إما في صورة حبيبات جافة أو سوائل. كما يمكن توزيع الكيمياويات قبل الزراعة وأثناء إعداد مرقد البذرة، أثناء الزراعة، أو بعد الإنبات وأثناء الفترة النشطة للنمو.

سوف نناقش في هذا الفصل طرق توزيع الكيمياويات والمعدات المرتبطة بها، والمكونات الوظيفية، وأساسيات تشغيلها، ومعايرة المعدات، والاختبار، وباقي المواضيع ذات العلاقة.

٧,١ توزيع الكيمياويات الجافة

تشتمل المواد الحبيبية الصلبة الجافة أساسًا على كل من: الأسمدة، ومبيدات الحشائش، ومبيدات الحشرات. تمثل الأسمدة نسبة كبيرة من المواد الحبيبية الصلبة الجافة. أما المبيدات الحبيبية فهي كيمياويات سائلة تشربت في مواد حبيبية حاملة خامدة مثل: الطين، الرمل، وقوالح الذرة.

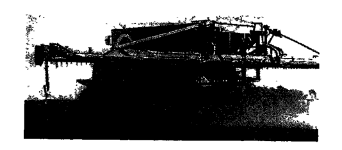
يتصف توزيع الحبيبات الجافة ببعض المميزات الخاصة. حيث يقل الاحتياج إلى نقل المياه وخلطها بالنسب المطلوبة للكيمياويات السائلة. كما لا يمثل الانجراف الكيمياوي مشكلة كبيرة. وتكون المعدات المستخدمة في التوزيع أقل تكلفة وأكثر خلوًا من المشاكل طالما أنه لا يوجد خلط، ضخ وتقليب. وأثناء ممارسة نظام حراثة محافظة، يمكن التحكم الجيد في الحبيبات مقارنة بالمركبات السائلة، حيث تتخلل الحبيبات المجموع الخضري للنبات إلى سطح التربة. وعمومًا يكون استخدام المواد الحبيبية أكثر أمانًا من المركبات السائلة.

المواد الحبيبية أكثر تكلفة من الكيمياويات السائلة. كما أن المادة الحبيبية لها خواص تلقيم ضعيفة ويمثل التوزيع المنتظم لهذه الحبيبات مشكلة أثناء العمل. ويقتصر استخدام المواد الحبيبية على توزيعها فوق التربة حيث تتطلّب وجود رطوبة لكي تبدأ فعاليتها. ويجب الاحتفاظ بالمبيدات الحبيبية في مكان جاف كما أنها تنقل وتخزن في أحجام كبيرة.

تتراوح المعدلات النمطية للمبيدات الحبيبية من ١٢ إلى ٢٤ كجم/ هـ(١٥ إلى ٣٠ رطل/ إيكر) مع وجود مادة فعالة تتراوح نسبتها من ٥ إلى ١٥٪. وفي حالة توفر مادة فعالة بنسبة تتراوح من ٢٠ إلى ٥٠٪ ، فمن المفضل استخدام معدلات توزيع أقل. تحتوي بعض المركبات الحديثة على مادة فعالة بنسبة تتراوح من ٧٥ إلى ٩٠٪ وبالتالي فإن معدل التوزيع الموصى به يقل إلى ١,١٢ كجم/ هـ(١ رطل/ إيكر). ومع زيادة تركيز المادة الفعالة يوجد اتجاه نحو استخدام حبيبات ذات جزيئات (أحجام) صغيرة. تميل الجزيئات الصغيرة إلى إعطاء تغطية أفضل وذلك بزيادة عدد الجزيئات لوحدة المساحة، ومع ذلك، فهي أكثر ميلاً للانجراف.

٧,١,١ الطرق والمعدات

من الممكن نشر السماد الحبيبي بانتظام في الحقل بأكمله، ويسمى التوزيع بالنثر، أو قد يمكن توزيعه في صفوف متقاربة، ويسمى التوزيع في شرائط. تشمل المعدات المستخدمة في توزيع المادة الحبيبية؛ ناثرات الإسقاط (بالجاذبية)، والناثرات الدورانية (طرد مركزي)، والناثرات الهوائية (الهواء المضغوط).

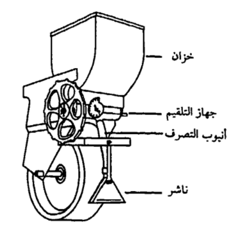


شكل ٧,١. آلة توزيع سماد من نوع الإسقاط.

(عن: .Ag-Chem Equipment Co)

تستخدم معدات الإسقاط إما للتوزيع بالنثر أو التوزيع الشرائطي. يوضح الشكل رقم (٧,١) آلة نثر بالإسقاط معلقة للتوزيع بالنثر ذات ذراع طوله ١٥,٢٤م (٥٠ قدمًا). بينما تحتوي الوحدات المقطورة بالجرار على أوعية (قواديس) يتراوح طولها من ٢,٤ إلى ٣,٧م (٨ إلى ١٢ قدمًا) ذات فتحات على مسافات متقاربة في القاع. وعادةً تكون المسافة بين الفتحات ١٥٠ مم. ويوجد عمود داخل الوعاء بالقرب من القاع يدار بواسطة عجلة الأرض. ويحمل مقلبات للمساعدة في سريان المادة. وتستخدم بوابة منزلقة للتحكم في مقدار اتساع الفتحات وكذلك لوقف السريان أثناء الدورانات. يوضح الشكل رقم (٧,٢) آلة توزيع من نوع الإسقاط للتوزيع الشريطي. ويستخدم مع هذا النوع عدد من الأوعية الصغيرة بدلاً من استخدام وعاء واحد طويل. يتم تلقيم المادة ثم إسقاطها خلال أنبوب ثم تنشر في شريط عريض بواسطة ناثر. وتحتوي بعض موزعات السماد على فجاجات لوضع المادة أسفل سطح التربة. وهذا النوع من الناثرات شائع الاستخدام كأحد الملحقات مع آلة الزراعة.

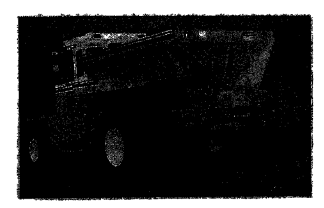
تحتوي الناثرات الدورانية على قرص أو قرصين ذوي ريش متعددة وذلك لإكساب الحبيبات طاقة ويناسب هذا النوع التوزيع بالنثر. حيث يتم تلقيم المادة فوق



شكل ٧,٢. موزع من نوع الإسقاط للتوزيع الشريطي.

(عن: Bode and Pearson, 1985.)

الأقراص ثم تُقذف على عرض كبير نتيجة قوة الطرد المركزي. وتعلق عادة الناثرات الدورانية خلف الجرار إلا أن بعض الأنواع التجارية الأكبر حجمًا تعلق خلف شاحنة مع وجود قرصين دوارين كما هو موضح في الشكل رقم (٧,٣). وتركب مع الشاحنات المستخدمة في توزيع الكيمياويات إطارات ذات تعويم عال.

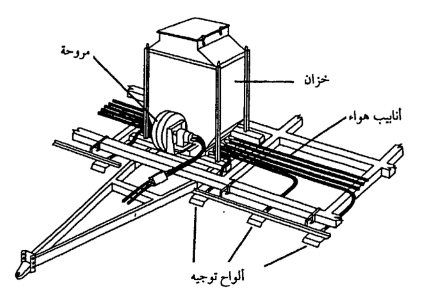


شكل ٧,٣. موزع دوراني معلق خلف شاحنة.

(عن: Ag-Chem Equipment Co..)

تحتوي الموزعات الهوائية على وعاء مركزي يتم تلقيم الحبيبات خلاله، ثم

تنقل بالهواء خلال أنابيب إلى العرض الكلي للآلة، ثم تنتشر عن طريق اصطدامها بألواح التوجيه. تسمح الناثرات الهوائية بملء الخزان المركزي، وسهولة التركيب فوق آلات الحراثة، وتحسين التوزيع، وهي أسهل في النقل من الموزعات المعلقة مع المقطورة. يوضح الشكل رقم (٧,٤) موزعًا هوائيًا. ويمكن استخدام الناثرات الهوائية في كل من التوزيع بالنثر أو الشريطي.



شكل ٧,٤. موزع هوائي. (عن: Bode and Pearson, 1985.)

يمكن نثر السماد بواسطة طائرة في المساحات التي تكون إما كبيرة جدًا أو صعبة جدًا (ذات تضاريس وعرة، وحقول الأرز المغمورة) بالنسبة للأجهزة الأرضية. تحمل الطائرة حمولة صافية قصوى تتراوح من ٥٠٠ إلى ١١٠٠ كجم (١١٠٠ إلى ٢٤٠٠ رطل) وعند سرعات تشغيل تتراوح من ١٣٠ إلى ١٩٠ كم/ ساعة (٨٠ إلى ١٢٠ ميل/ ساعة). ويتراوح ارتفاع الرش غالبًا من ٩ إلى ١٥ م (٣٠ إلى ٥٠ قدمًا). تتكون ناثرات ضغط الهواء المثبتة أسفل جسم الطائرة من مجرفة (تجويف) هوائية، فنشوري أو مقطع لتجويف محدد حيث تدخل المادة، ومقطع للتوزيع (للتشعيب) مع موزعات؛ وذلك لإكساب المادة المطلوب حملها بواسطة تيارات الهواء مركبة

سرعة جانبية مناسبة. ويتم توليد تيار الهواء بواسطة نافخ دفعي. يعطي العديد من موزعات ضغط الهواء توزيعًا منتظمًا على هيئة شبه منحرف يسمح بتوزيع متجانس بصورة جيدة مع وجود تداخل مناسب لعرض رش يتراوح من ١٢ إلى ١٤ م (٤٠ إلى ٤٥ قدمًا). وعند معدلات توزيع أكبر من ٢٨٠ كجم/ هـ (٢٥٠ رطل/إيكر) لاتتسارع الحبيبات بصورة مقبولة وبالتالي لايتجانس التوزيع بصورة جيدة. كما يتأثر انتظام التوزيع بصورة كبيرة بشدة الرياح المستعرضة. وتستخدم الأقراص الدورانية كنوع آخر من الناثرات المستعملة مع التوزيع بالطائرات. حيث تدور الأقراص المستخدمة في التوزيع الهوائي بسرعات أسرع بكثير من الأجهزة الأرضية وذلك لتغطية عرض أكثر. وتستخدم الطائرات المروحية في مناطق لاتناسب استخدام الطائرات ذات الأجنحة الثابتة مثل المناطق الوعرة، التضاريس الجبلية والتي تكون بعيدة عن المدارج المناسبة للهبوط. تبلغ تكلفة تشغيل الطائرات المروحية من ٢ إلى ٣ أمثال تكلفة تشغيل الطائرات ذات الأجنحة الثابتة. ويمكن تقسيم طرق التوزيع إلى الحالات التالية:

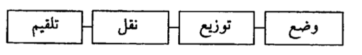
التوزيع قبل الزراعة. يشتمل التوزيع قبل الزراعة على رش المادة إما فوق سطح التربة أو وضعها أسفل السطح باستخدام الملحق المناسب لآلة الحراثة. كما يمكن دمج المادة الموزعة على السطح مع التربة باستخدام آلة حراثة مناسبة (في المعتاد عزاقة حقلية أو مشط قرصي) كجزء اعتيادي من إعداد مرقد البذرة. ويمكن وضع السماد على أعماق في التربة باستخدام عزاقة من النوع الحفار. وقد تستخدم آلة توزيع سماد كملحق لمحراث والتي بدورها تضع السماد في الأخدود تحت سطح التربة على عمق الحراثة.

التوزيع أثناء البذر. تستخدم آلات تسطير السماد بصورة شائعة لتوزيع السماد أثناء الزراعة. حيث تجهز آلات التسطير بخزانات، أنابيب وفجاجات لوضع السماد أسفل وإلى الجانب من صفوف البذور. وبالمثل، تحتوي آلات الزراعة في صفوف على ملحقات لوضع السماد في شرائط متقاربة على جانبي صف البذور. وتكون فجاجات السماد منفصلة تمامًا عن فجاجات البذور وبالإمكان ضبطها بصورة مستقلة في الاتجاهات الرأسية والأفقية.

التوزيع أثناء وجود المحاصيل النامية. يمكن توزيع الكيمياويات إما على السطح أو أسفل السطح للمحاصيل القائمة. تعتمد طرق التوزيع على المحصول وطريقة الزراعة. مع المحاصيل الكثيفة، يمكن توزيع السماد على السطح إما باستخدام ناثرات الإسقاط أو الناثرات الدورانية. ومع المحاصيل الصفية، يمكن عمل شرائط للحبيبات الكيمياوية بين الصفوف أو توزيعها على أي من جانبي الصف بطريقة التسميد الجانبي (التغطية).

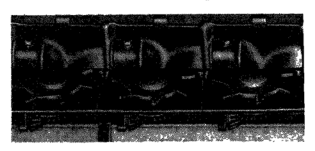
٧,١,٢ العمليات الوظيفية

يوضح الشكل رقم (٧,٥) مخطط وظائف آلة نثر الحبيبات الكيمياوية. تتكون الوظائف الأساسية من: التلقيم، والتوزيع، والوضع. وسوف تناقش هذه الوظائف في الجزء التالي.



شكل ٧,٥. مخطط الوظائف لموزع الكيمياويات الحبيبية.

التلقيم. تم تطوير العديد من الأنواع المختلفة لأجهزة التلقيم للحصول على فاعلية ثابتة ومنتظمة للتلقيم. وعمومًا تدار هذه الأجهزة بواسطة عجلة الأرض والتي تتوقف عن التلقيم إما نتيجة توقف الآلة أو رفعها عن الأرض. ويمكن تقسيم أجهزة التلقيم إلى السريان الإيجابي أو السريان بالجاذبية.



شكل ٧,٦. آلية تلقيم ذات عجلة لجمية لآلة تسطير حبوب.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978.)

تُستخدم عجلة التغذية النجمية، الشكل رقم (٧،٦)، في بعض سطارات المحببات ومع القليل من ملحقات التغطية الجانبية للمحاصيل الصفية. يسقط السماد، المحمول بين أسنان عجلة التغذية، إلى أنبوب التوصيل بواسطة الجاذبية بينما تكشط المادة المحمولة فوق قمة العجلة إلى فتحة التوصيل. ويتم التحكم في معدل التصرف عن طريق رفع أو خفض بوابة مثبتة فوق العجلة.

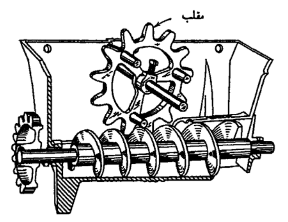


شكل ٧،٧. جهاز تلقيم ذو قاع دوراني.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978.)

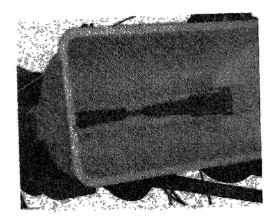
تحتوي أجهزة التلقيم لبعض ملحقات الباذرات في صفوف على أطباق أفقية دورانية في القاع والتي تنطبق على حلقة القاع الثابتة في قاع الخزان، الشكل رقم (٧،٧). ويتم التحكم في معدل التصرف بواسطة بوابة قابلة للضبط مثبتة على مخرج جانبي. ويوجد في بعض الأحيان مخرجان للسماح بعمل شريطين من خزان واحد.

يوضح الشكلان رقما (٧،٨) و(٧،٩) أجهزة تلقيم من النوع البريمي، حيث يحتوي النوع الموضح في الشكل رقم (٧،٨) على أنبوب بريمي ذي وصلة مغلقة

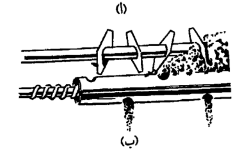


شكل ٧,٨. جهاز تلقيم مزوَّد ببريمة في أنبوب مغلق.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978.)



(أ)



(ب)

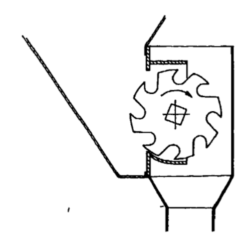
شكل ٧,٩. أجهزة تلقيم ذات بريمة طافية (أ) لملحقات محاصيل الصفوف، (ب) لملحقات محاصيل الصفوف أو ناثرات الإسقاط.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978.)

وتكون للبريمة إزاحة كبيرة نسبيًا لكل دورة. يستخدم بكثرة الترتيب ذي الوصلة

السائبة أو البريمة الطافية والموضحة في الشكل رقم (٩ , ٧أ) للمحقات المحاصيل الصفية. ويكون القطر الداخلي للأنبوب أكبر من قطر البريمة بحوالي ١٢,٥ م. ويعمل كل من نصفي البريمة على تحريك المادة في اتجاه أحد أطراف الخزان، حيث يتم تصريفها من نهاية الأنبوب أو تسقط خلال فتحة الخروج. ويغطي الخزان الواحد صفين. كما يمكن رفع البريمات بسهولة عند التنظيف.

يوضح الشكل رقم (٩ , ٧ب) شكلاً آخر لأساسيات البريمة الطافية، حيث تدخل المادة إلى أنبوب البريمة من أعلى بدلاً من الطرف، وتنقل لمسافة صغيرة خلال الأنبوب المائل ثم يتم تصريفها من مخرج في القاع. تشكل مجموعة الأنبوب قاع الخزان وبالإمكان رفعها. تسمح مجموعة من الفتحات على طول الأنبوب بوجود مخارج متعددة لاستخدامات محاصيل الصفوف أو النثر بطريقة الإسقاط. ومع أي من أجهزة التلقيم من النوع البريمي، يتم ضبط معدل التصرف بتغيير نسبة السرعة بين البريمة وعجلة الأرض.

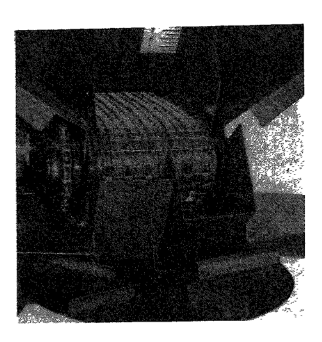


شكل ١٠ ,٧. جهاز تلقيم ذو خلية طرفية ودوار رأسي.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978.)

يوضح الشكل رقم (١٠ , ٧) خلية طرفية، ذات تغذية إيجابية. يتم وضع مجموعة عجلات التلقيم على المسافات المرغوب فيها بطول الخزان ويتم إدارتها بعمود واحد. يستخدم قرص بعرض يتراوح من ٦ إلى ٣٢م لمعدلات تغذية

مختلفة. ويتم التحكم في معدل التصرف لأي قرص مستخدم بتغيير سرعته.



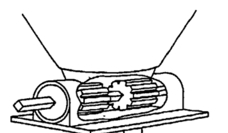
شكل ٧,١١. جهاز تلقيم ذي سير سلك في آلة نثر طاردة مركزية.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978.)

تستخدم أحيانًا أجهزة تلقيم من نوع السير عندما يكون مطلوبًا معدلات توزيع كبيرة نسبيًا، كما في ناثرات الطرد المركزي ذات الخزانات الكبيرة. وتحتوي بعض الوحدات على سير سلك مسطح (أحيانًا من الصلب غير القابل للصدأ) والتي تسحب المادة من قاع الخزان، الشكل رقم (٧,١١) ويستخدم بعضها سيوراً من القماش والمطاط. ويتم التحكم في معدلات التصرف بواسطة بوابة قابلة للضبط فوق السير. كما يمكن تقسيم التصرف إلى مسارين أو أكثر حسب الرغبة.

تتكون أجهزة التلقيم في معظم موزعات المبيدات الحبيبية من قرص ذي ريش أو مموَّج يقاد من عجلة الأرض وموجود فوق فتحة تصرف قابلة للضبط، الشكل رقم (٧,١٢). وتحتوي أحيانًا الخزانات للمحاصيل الصفية على فتحتين أو أربع فتحات والتي يمكن استخدام الخارج منها بصورة منفصلة أو مجتمعة. يعمل تثبيت الأقراص بالقرب من قاع الخزان على السماح بالغلق الإيجابي عند عدم دوران

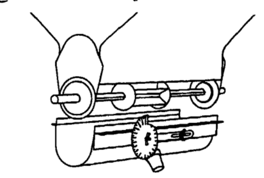
القرص.



شكل ٧,١٢. جهاز تلقيم من نوع الأسطوانة المموّجة إيجابي التغذية.

(عن: .Bode and Pearson, 1985)

مثاليًا، يجب أن يتناسب معدل التصرف مع سرعة القرص بحيث لايتأثر معدل التوزيع بالسرعة الأمامية. ولكن بينت الاختبارات غير ذلك. حيث لاتتناسب معدلات التصرف مع السرعة الأمامية. ويسبب ذلك عدم الملء الكامل للفراغات بين الريش والتي تتأثر بخواص سريان المادة. وتولد أجهزة التلقيم المموَّجة، مثل العديد من الأجهزة الأخرى، تغيرًا دوريًا في انتظامية معدل التوزيع.



شكل ٧,١٣. جهاز تلقيم من نوع السريان بالجاذبية.

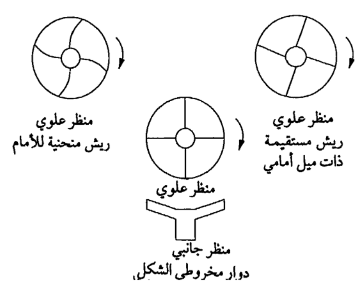
(عن: .Bode and Pearson, 1985)

تعتبر أجهزة التلقيم من نوع السريان بالجاذبية شائعة في الناثرات ذات نظام الإسقاط، الشكل رقم (٧,١٣). حيث يتم التحكم في المعدل بضبط حجم الفتحات. و يقوم مقلب دوراني بتكسير الكتل وتحريك المادة بعرض الفتحات للمساعدة في التغذية. تحتوي الناثرات الدورانية على خزانات بحجم (بقطر) متناقص إلى مساحة صغيرة عند القاع وتستخدم عادةً أجهزة تلقيم ذات فتحة ثابتة.

وتكون أجهزة التلقيم بالجاذبية حساسة للسرعة الأرضية.

النثر. تُقسم أجهزة النثر إلى ثلاثة أقسام: طرد مركزي، جاذبية، وهواء مضغوط.

الناثرات الدورانية. تتكون الناثرة الدورانية عادةً إما من قرص واحد أفقي أو قرصين مزدوجين أفقيين يدوران عكس بعضهما. ويعمل اتجاه الدوران للجانبين المتجاورين للقرصين المتعاكسين على تحريك المادة إلى الخلف. ويحتوي القرص على ريش في اتجاه نصف القطر، ذات ميل (خطوة) للأمام أو للخلف بالنسبة لنصف القطر. وقد تكون الريش إما مستقيمة أو منحنية. تعطي الريش ذات الميل الأمامي مسافات حمل (نقل) أكبر وذلك للمواد ذات السريان الحر وتعمل الريش ذات الميل الخلفي على تفريغ المادة الملتصقة (مثل، الجير الرطب) بصورة أفضل. هذه الأقراص موضحة في الشكل رقم (١٤, ٧). تستخدم الناثرات الدورانية مع أنواع النثر للموزعات الكيمياوية. يسقط تيار من السماد الحبيبي على القرص ثم يقفز للخارج بتأثير فعل قوة الطرد المركزي. ينقسم التيار عادة في حالة الأقراص المزدوجة إلى قسمين بواسطة مُقسم معكوس على شكل حرف (V).



شكل ١٤, ٧. أنواع مختلفة من الأقراص لموزعات طاردة مركزية.

يعتبر تماثل التغطية واحداً من أكثر صفات الأداء أهمية. وتتأثر المسافة الأفقية

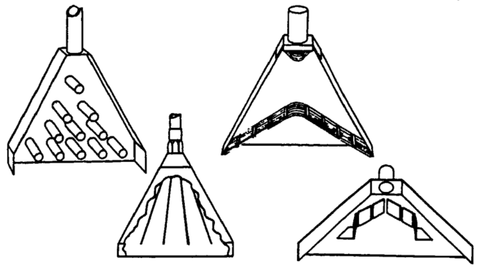
التي تقذف خلالها الحبيبات بحجم الحبيبة، والكثافة، والشكل، بالإضافة إلى سرعة القرص والشكل الهندسي. حيث تميل مكونات المخلوط الجاف إلى الانفصال عندما تتحرك الجزيئات الأكبر حجمًا ومن نفس الكثافة إلى مسافة أبعد. وتؤثر الرياح أيضًا على مسافة الحمل، ومن ثم يتأثر نمط التوزيع.

يتأثر تماثل التغطية بشكل التوزيع الناتج من الناثرة و بمقدار التداخل أيضًا. ويمكن تقريب معظم التوزيعات الناتجة من الناثرات الدورانية بواحد من الأشكال الموضحة في الشكل رقم (١٧ , ٦) (الفصل السادس). نظريًا، يعطي كل من: التوزيع الهرمي، والقمة المستوية، والشكل البيضاوي توزيعًا منتظمًا إذا كانت متماثلة، ومستقيمة الجوانب، ومتداخلة كما هو موضح. يسمح التوزيع الهرمي بانحراف أكثر لأخطاء القيادة. والتوزيعات الهرمية لاتكون مرغوبة من وجهة نظر التماثل، ولكن للشكل الموضح قد يعطي توزيعًا منتظمًا مقبولاً، إذا كان عرض الصف لايزيد على ٤٠٪ من العرض الكلي لنمط التوزيع، أو إذا كان هناك تداخلٌ بنسبة ٦٠٪.

ناثرات الجاذبية. تصنع ناثرات ذات السريان بالجاذبية من بيت معكوس على شكل حرف (V) ويصنع إما من البلاستيك أو من شرائح معدنية عند القاع من أنبوب الإسقاط. يحتوي البيت على ريش توزيع أو أشكال أخرى تأخذ تيار المادة الحبيبية وتوزعه بالتساوي على شريط عريض. وعلى العكس من الموزعات الدورانية، توزع ناثرات الجاذبية المادة الكيمياوية بشكل أكثر تحكمًا، وبالتالي، فهي أكثر ملاءمة لملحقات آلات الزراعة في صفوف والعزاقات. وهي متاحة أيضًا لآلات تسطير السماد في الحقول المفتوحة للتغطية الكاملة للحقل. يوضح الشكل رقم (١٥ , ٧) ناثرة من نوع الجاذبية.

النثر بالهواء المضغوط. توجد ناثرات الهواء المضغوط مع معدات الطائرة. وهي مثبتة في محرك لدفع الهواء أسفل جسم الطائرة. وتتكون الناثرة في هذا النوع من قمع هوائي، فنشوري أو مقطع اختناق محدد حيث يتم دخول المادة، ومقطع تشعيب مع حواجز لإعطاء مركبات السرعة الجانبية المناسبة إلى المادة المحملة بواسطة تيارات الهواء. وتم تطوير العديد من التصميمات المختلفة لموزعات الهواء

المضغوط . ويتراوح طول معظم تلك الموزعات المستخدمة لتوزيع الأسمدة أو البذور من ٩١٠ إلى ١١٤٠ مم، ويتراوح عرض الاختناق بها من ٦١٠ إلى ٧٦٠مم ويتراوح ارتفاع الاختناق من ١٥٠ إلى ٢٠٠ مم، ولها مساحة تصرف تعادل على الأقل ضعفي مساحة الاختناق. وتكون زاوية التصرف للأجزاء الخارجية في المعتاد ٤٥° على الأقل من خط التحرك.



شكل ٧,١٥. أنواع مختلفة من الناثرات المستخدمة في الموزعات ذات الإسقاط. (عن: Bode and Pearson, 1985.)

يعطي العديد من ناثرات الهواء المضغوط توزيعًا على شكل شبه منحرف ذي قمة مستوية تقريبًا وبالتالي يمكن الحصول على توزيع متماثل مقبول مع وجود تداخل مناسب لعرض صف يتراوح من ١٢ إلى ١٤م. إلا أنه، مع زيادة معدل سريان المادة، تنخفض سرعة الهواء خلال الناثر مما يقلل من الطاقة المتاحة لتسارع الجزيئات. وبناء على ذلك، تكون نماذج التوزيع ضعيفة لمعدلات أكبر من ٩٠٠ كجم/ د. الشيء الآخر الذي يحد من انتشار ناثرات الهواء المضغوط هو السحب الديناميمي الهوائي المرتفع ومتطلبات القدرة (Yates and Akesson, 1973).

الوضع. يمكن تقسيم أجهزة الوضع إلى تلك التي توزع الكيمياويات على السطح أو أسفله. ويندمج غالبًا التوزيع السطحي مع التربة بواسطة آلة حراثة إذا تم

قبل الزراعة. بينما توزع الكيمياويات على المحاصيل النامية في شكل تغطية على القمة ولاتندمج مع التربة، وعلى وجه الخصوص في المحاصيل ذات الزراعة الكثيفة. يوضع السماد غالبًا أسفل السطح بواسطة آلة زراعة أو عزاقة. كما يوضع السماد أيضًا على أعماق في التربة باستخدام محاريث حفارة أو يثقب (يوضع في حفرة) في المراعي الموجودة والمروج باستخدام أدوات خاصة.

يستكمل الوضع في شرائط أثناء زراعة محاصيل الصفوف باستخدام موزعات مستقلة عن الفجاج الخاص بالبذور. وتستخدم غالبًا فجاجات قرصية مزدوجة، قرص فردي، فجاج زاحف، وكلها مشابهة لفجاجات أخاديد البذور.

تقوم آلات تسطير البذور والسماد بتوصيل السماد خلال أنبوب البذور، ثم وضعه في تلامس مباشر مع البذور في الأخدود. وتوضع أحيانًا فجاجات قرصية منفصلة أمام فجاجات البذور لمنع الخلل (إثارة) في صف البذور.

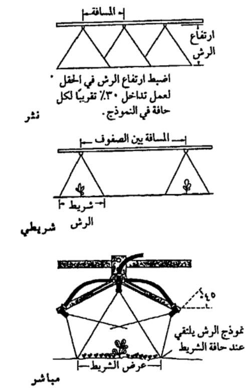
٧,٢ توزيع الكيمياويات السائلة

تشمل الكيمياويات السائلة كلاً من: الأسمدة، والمبيدات، والهرمونات الأخرى المنظمة للنمو. وقد تكون تلك الكيمياويات في شكل مستحلب مائي، أو محاليل، أو معلقات من المساحيق القابلة للبلل. وتكون المبيدات السائلة إما تلامسية النوع أو جهازية (شاملة). حيث تقتل المبيدات التلامسية الحشائش، والحشرات، والفطريات، . . . إلخ، عن طريق التلامس. ومن الضروري أن تكون فعالة وتغطي الهدف بالكامل، ويتم عادة الوصول إلى ذلك باستخدام قطرات صغيرة. تمتص المبيدات الجهازية بواسطة النبات ثم تنتقل أماكنها داخل النبات. ولايتطلب التغطية الكاملة للنبات وتكون القطرات الأكبر حجمًا والأقل تأثيراً بالانجراف مقبولة.

٧,٢,١ الطرق والمعدات

تنقسم طرق توزيع الكيمياويات السائلة إلى التوزيع قبل الزراعة، أثناء الزراعة، وبعد الزراعة. ويكون التوزيع قبل الزراعة عمومًا للأسمدة ومبيدات

الحشائش لمكافحة الحشائش. ويشمل التوزيع قبل الزراعة التوزيع تحت السطح أو فوقه. ويشمل التوزيع تحت السطحي للسماد كلاً من: الأمونيا المائية واللامائية. ويتم التوزيع بواسطة سكاكين أو حاقنات حفارة مصممة خصيصًا. ويشمل التوزيع أثناء الزراعة عمومًا على الأسمدة ومبيدات الحشائش. بينما يشمل التوزيع بعد الزراعة على الأسمدة وجميع أنواع المبيدات. كما يمكن تقسيم طرق التوزيع أيضًا بناء على المساحة المغطاة. وقد يكون ذلك عن طريق النشر، والتوزيع الشريطي، والرش المباشر. في التوزيع بالنشر يتم توزيع الكيمياويات بالتماثل على سطح التربة أو على المحصول وفي التوزيع الشريطي يتم توزيع الكيمياويات في شرائط ضيقة أو عريضة. و يستخدم العديد من البشابير في الرش المباشر لرش المحاصيل الصفية وذلك لتغطية أكثر شمولاً للنباتات. يوضح الشكل رقم (١٦, ٧) الطرق الثلاث للتوزيع.



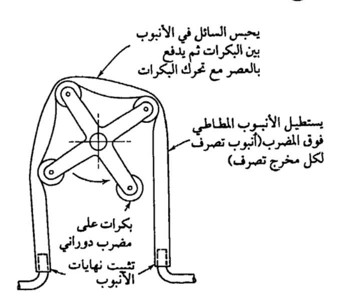
شكل ١٦, ٧. طرق توزيع الكيمياويات السائلة. (عن: Spraying Sys. Co., 1991)

يمكن تقسيم المعدات الشائعة لتوزيع الكيمياويات السائلة إلى الرتب التالية

حسب ضغط النظام:

موزعات السائل عديمة الضغط. يمكن توزيع السوائل بدون ضغط مباشرة على سطح التربة، كما في المراعي والمحاصيل الكثيفة. وقد يستخدم أحيانًا التوزيع الشريطي للسوائل بدون ضغط أثناء عملية زراعة محاصيل الصفوف أو كتغطية جانبية أخيرة. تتوفر الكيمياويات السائلة عديمة الضغط للعديد من آلات الزراعة. ويركب عادةً خزان واحد لكل صفين. حيث يتم تصريف السائل بالقرب من الأخدود خلال أنابيب صغيرة.

يتم سريان السائل نتيجة الجاذبية ويتم التحكم في المعدل بواسطة فتحات ثابتة. تحتوي الملحقات عمومًا على كأس ترسيب، ومنقي، وواحد أو اثنين من أقراص الفتحات مزودة بوسيلة لتغيير مدى مقاس الفتحة، وصمام للغلق السريع. وما لم يكن ارتفاع الخزان كبيراً بالنسبة لعمقه، أو باستخدام تنفيس من القاع، فسوف يتسبب تغيير الضاغط في تغيرات ملموسة في معدل السريان. يتم الحصول على تنفيس القاع (سيفون مقلوب) بإحكام غلق الخزان؛ ممايسمح بدخول الهواء فقط من أنبوب مفتوح يمر من قمة الخزان إلى نقطة داخله بالقرب من القاع. ومن ثم



شكل ١٧,٧. مضخة ضاغطة (عاصرة).

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978.)

فإن ارتفاع نهاية القاع بالنسبة لفتحة التهوية تحدد مقدار ارتفاع السائل بالخزان ويمكن إلحاق أنبوب تهوية إلى غطاء من النوع المحكم بمعلومية مقياس الفتحة وارتفاع السائل بالخزان، فإن معدل التوزيع لكل هكتار يتناسب عكسيًا مع السرعة الأمامية.

طُورت مضخة كبس (ضغط) مبسطة مثل الموضحة في الشكل رقم (٧, ١٧) للعديد من موزعات السائل بدون ضغط. تتوفر وحدات حتى ٢٠ أنبوبًا، ويخدم كل أنبوب فتحة واحدة للموزع. المضخة موجبة الإزاحة تُقاد من عجلة الأرض وتعطي معدل سريان يتناسب مع سرعة عجلة الأرض. ويتم ضبط معدل التوزيع بتغيير نسبة السرعة بين البكرة وعجلة الأرض.



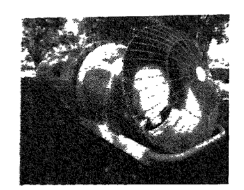
شكل ٧, ١٨. رشاشة حقلية بحامل رش. (عن: Deere and Co. © 1991.)

رشاشات الضغط المنخفض. يوضح الشكل رقم (٧, ١٨) آلة رش حقلية معلقة بالجرار وذات حامل رش. تستخدم هذه الرشاشات لتوزيع كيماويات قبل وبعد الإنبات لمكافحة الحشائش، والحشرات، والأمراض. تستخدم آلات الرش ذات حامل الرش مع الجرارات، والشاحنات، والمقطورات. تعمل وحدات الضغط المنخفض عادةً على مدى يتراوح من ١٥٠ إلى ٣٥٠ك. بسكال وتوزع من ٥٠ إلى ٢٠٠ لتر/ هـ. إلا أنه، في بعض استخدامات الحجم المتناهي في الصغر، قد تنخفض المعدلات إلى ١٠ لتر/ هـ وحتى بضع ملليمترات لكل هكتار. يحمل خزان الرشاشات المعلق مع الجرار من ٥٧٥ إلى ١٠٠٠ لتر. وللاستخدام مع محاصيل الصف القائمة، طُورت رشاشات ذات ارتفاع كبير عن سطح الأرض. حيث تحتوي على إطار مرتفع بدرجة كافية يسمح بالمرور فوق نبات الذرة، القطن وباقي المحاصيل الطويلة. ويمكن رفع أو خفض حامل الرش حسب ارتفاع المحصول. يمكن تعليق

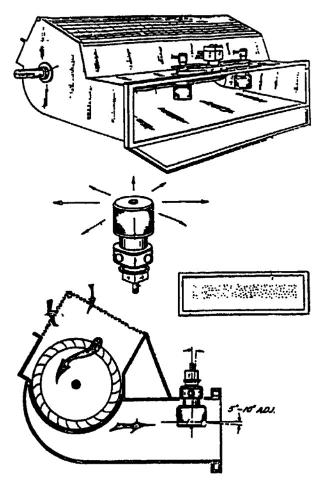
الرشاشة على مقطورة أو على إطارات ثم تسحب في الحقل بواسطة الجرار، مع سعة للخزان تصل إلى ٣٧٥٠ لتراً. ويتغير عرض حامل الرش من ٤ إلى ١٢ متراً. كما توضع رشاشات متحركة (منزلقة) معلقة على شاحنة صغيرة أو على سطح شاحنة كبيرة. وفي هذه الحالة تصل سعة الخزان إلى ١٠٠٠٠ لتر وقد يصل عرض حامل الرش إلى ١٨ متراً. تزود الشاحنات بعجلات طافية بحيث يمكنها العمل في الظروف المبتلة. تمتاز الرشاشات المعلقة في الطائرات بسرعة التغطية وتوزيع الكيمياويات في الحالات التي لاتكون مناسبة للآلات الأرضية. وبسبب سعة أوزان الحمل المحدودة، فإن الرشاشات المعلقة بالطائرات تكون أكثر ملاءمة لمعدلات التوزيع المنخفضة أو الأقل من ٥٠ لتراً/ هـ. تتغير سرعة الطائرة من ٥٠ إلى ١٢٥ كم/ ساعة للطائرات المروحية (العمودية) ومن ١٧٥ إلى ٢٥٠ كم/ ساعة للطائرات ذات الأجنحة عند طيرانها بارتفاع يتراوح من ١ إلى ٨ أمتار فوق ارتفاع النبات.

رشاشات الضغط العالي. تتشابه رشاشات الضغط العالي مع رشاشات الضغط المنخفض فيما عدا أنها تعمل تحت ضغط أعلى بكثير وحتى ٧٠٠٠ ك.بسكال، ولاتحتوي عادةً على حامل رش متعدد البشابير (الفوهات). تستخدم رشاشات الضغط العالي في الحدائق (أشجار الفاكهة) حيث يكون ضرورياً الرش حتى قمة الأشجار والتغلغل خلال غطائها النباتي الكثيف. وتكون رشاشات الضغط العالي أكثر تكلفة بسبب تصنيع أجزائها من مواد تتحمل ضغوطًا أعلى.

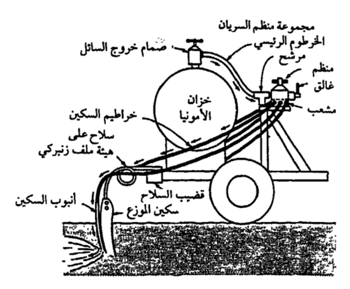
رشاشات الحمل الهوائي. تسمى رشاشات الحمل الهوائي أحيانًا باسم رشاشات تيار الهواء (الاندفاع الهوائي)، أو نافخات ضباب (عفارات). يتم ترذيذ السائل إما بفوهات ضغط أو مرذاذات دورانية في تيار هوائي مرتفع السرعة. يحمل السائل المرذذ إلى الهدف بواسطة تيار هوائي. وبإمكان الرشاشات توليد معدلات لسريان الهواء في المدى من ٢,٥ إلى ٣٠ م^{٣}/ ث مع سرعات هواء تتراوح من ١٢٥ إلى ٢٤٠ كم/ ساعة. وبما أن الهواء يستخدم لنقل المبيدات إلى الهدف، فيمكن استخدام مبيدات مركزة مما ينتج عنه توفير واضح في كمية الماء المطلوبة وفي الزمن المطلوب لإعادة التعبئة. يوضح الشكلان رقما (٧,١٩) و(٧,٢٠) نوعين مختلفين من رشاشات الحمل الهوائي.



شكل١٩,٧. رشاشة حمل هوائي. (عن: Durand-Wayland, Inc.)



شكل ٢٠,٧. رشاشة حمل هوائي تستخدم مروحة ذات سريان متقاطع ومرذاذ قطيرات ذي تحكم دوراني. (عن: Van Ee and Ledebuhr, 87.)



شكل ٧,٢١. شكل تخطيطي لموزع أمونيا سائلة.

(عن: Smith, 1964, by permission of McGraw-Hill Book Co.)

التوزيع تحت السطح. تكون الكيمياويات التي توزع تحت السطح غالبًا أسمدة في صورة أمونيا مائية أو لامائية. من الأسس التي يجب اتباعها عند استخدام الأمونيا اللامائية والمائية والسوائل الأخرى منخفضة الضغط، أن تترك المادة المستخدمة في أخاديد متقاربة على أعماق تتراوح من ١٠ إلى ١٥ سم على الأقل ثم تغطيتها فوراً لمنع هروب الأمونيا. تحتوي الأمونيا اللامائية على نيتروجين بنسبة ٨٢٪. ونقطة غليانها هي –٢٨ °ف. ومن المهم أن تكون التربة مفككة وسهلة التفتيت مع نسبة رطوبة مناسبة التسرب بشكل جيد ولامتصاص الأمونيا في جزيئات التربة. وتحت بعض الظروف تسير عجلة ضاغطة أو بعض أدوات التغطية الأخرى مباشرة خلف الموزعات. يوضح الشكل رقم (٧,٢١) شكلاً تخطيطيًا لموزع أمونيا مقطور. لاحظ أنه لاتوجد مضخة في النظام. حيث يستخدم الضغط البخاري للأمونيا السائلة لضخ السائل. ويكون هناك احتياج لصمام تنظيم التحكم في السريان بمجرد تغيير الضغط البخاري مع تغير كمية وتركيز الأمونيا في الخزان وتغير درجة الحرارة. على سبيل المثال، عند ١٥,٦ °م يكون الضغط البخاري ٦٢٠ كيلوبسكال (٩٣ رطل/ بوصة٢) ولكن عند ٣٧,٨ °م يرتفع الضغط إلى ١,٣ ميجابسكال (١٩٧ رطل/ بوصة٢). يوضح الشكل رقم (٧,٢٢) سلاحًا

تقليديًا لموزع متقارب . يتم تصريف السائل من فتحات على جوانب أنابيب التوصيل بالقرب من الطرف السفلي. تعتمد المسافة بين الأسلحة على نوع المحصول النامي . وعند إضافة الماء إلى الأمونيا اللامائية لخفض الضغط البخاري يطلق عليه اسم أمونيا مائية. وهذه تحتوي على نسبة نيتروجين تتراوح من ٢٠ إلى ٢٥٪ فقط ويصبح سماداً سائلاً ذا ضغط منخفض. وللتوزيع تحت السطحي، فمن الضروري وجود مضخة. وتستخدم مضخات تقاد من عجلة الأرض ومتغيرة المشوار لمعايرة الأمونيا . توزع الأمونيا المائية على عمق ٥ سم تحت السطح حيث إنها لاتتطاير مثل الأمونيا اللامائية. وتتوفر كل من المعدات المعلقة والمقطورة لتوزيع السوائل تحت ضغط .



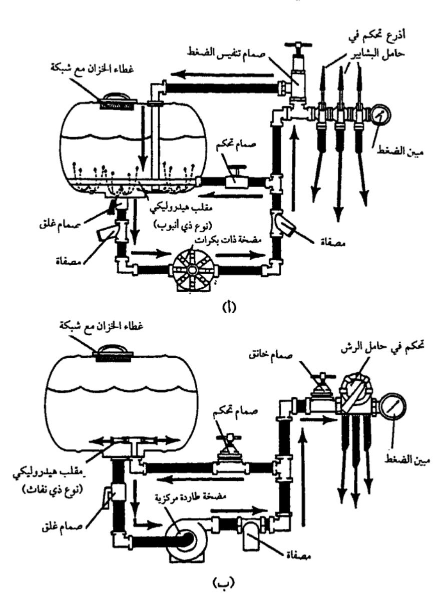
شكل ٧,٢٢. سلاح لتوزيع الأمونيا اللامائية.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978.)

٧,٢,٢ العمليات الوظيفية

يوضح الشكل رقم (٧,٢٣) تخطيطًا للترتيب النمطي لرشاشة هيدرولية . تتكون الرشاشة من: خزان للسائل الكيمياوي، و نظام تقليب ليحافظ على الخلط الجيد وتجانس الكيمياويات، ومضخة لبدء السريان، وصمام تنظيم ضغط للتحكم في معدل السريان، ومجموعة من الفوهات لترذيذ السائل، ثم بعض المكونات الأخرى مثل: حامل الرش، وصمامات غلق، ووصلات ومصافي. وسيتم مناقشة

المكونات الوظيفية الرئيسة في الجزء التالي :



شكل ٧,٢٣. شكل تخطيطي لرشاشات الضغط المنخفض مستخدمة (أ) مضخة أسطوانية، (ب) مضخة طاردة مركزية.

(عن : .Bode and Butler, 1981)

الضخ. المضخات موجبة الإزاحة. تشتمل المضخات موجبة الإزاحة الموجودة في الرشاشات على أنواع ذات كباس أو ضاغط، دوار، والغشائية. وهذه

الأنوع ذاتية التحضير، وتتطلّب جميعها صمامات تحويل تلقائية (مُحملة زنبركيًا) للتحكم في الضغط وحماية الآلة من التلف الآلي إذا تم إغلاق السريان. والمضخات ذات المكبس أو الضاغط مناسبة جداً لاستخدامات الضغط العالي مثل رشاشات الضغط المرتفع لحدائق الفاكهة والرشاشات متعددة الأغراض والمصممة لكل من رش الضغط المرتفع والمنخفض. وهي أكثر تكلفة من الأنواع الأخرى، وتشغل فراغًا أكثر، كما أنها ثقيلة، إلا أنها شديدة الاحتمال ويمكن أن تركب بحيث تتداول المواد الاحتكاكية بدون تآكل شديد.

تكون الكفاءة الحجمية لمضخة ذات كباس وفي حالة جيدة عالية على وجه العموم (٩٠٪ أو أكثر)، كما يجب أن يكون معدل التصرف في تناسب مباشر مع سرعة المرفق والإزاحة الحجمية. وسرعات المرفق في مضخات الرشاشات الصغيرة (٣٨ لتر/ د [١٠ جالون/ د] وأقل) غالبًا في حدود تتراوح من ٤٠٠ إلى ٦٠٠ لفة/ د. بينما تعمل مضخات رشاشات الضغط المرتفع (١ , ٤ إلى ٥ , ٥ ميجابسكال [٦٠٠ إلى ٨٠٠ رطل/ بوصة[٢]]) عادةً في حدود تتراوح من ١٢٥ إلى ٣٠٠ لفة/ د ولها سعات تتراوح من ٧٥ إلى ٢٢٥ لتر/ د (٢٠ إلى ٦٠ جالون/ د). وتتراوح الكفاءات الآلية من ٥٠ إلى ٩٠٪، اعتماداً على مقاس وحالة المضخة.

المضخات الدورانية شائعة الاستعمال مع رشاشات الضغط المنخفض، وأكثر الأنواع شيوعًا هي المضخات الأسطوانية (ذات بكرات)، الشكل رقم (٢٤ , ٧). تحتوي المضخات الأسطوانية على قرص مشقوق ويدور في بيت غير مركزي. تعمل الأسطوانات الموجودة في كل شق على إحكام الفراغ بين القرص وجدار العلبة. وتبقى الأسطوانات ملامسة للعلبة بواسطة قوة الطرد المركزي أثناء تشغيل المضخة. عند مرور البكرات أمام المدخل يتمدد الفراغ مما يولد ضغطًا منخفضًا يتسبب في سحب السائل إلى الداخل باتجاه البيت. يتحرك السائل المحبوس بين الأسطوانات في اتجاه فتحة المخرج مع دوران القرص. ثم تنكمش الفراغات بين الأسطوانات لطرد السائل للخارج خلال فتحة المخرج. يتم إيجاد تصرف المضخة بتقدير طول وقطر البيت، ولامركزيتها، وسرعة الدوران.

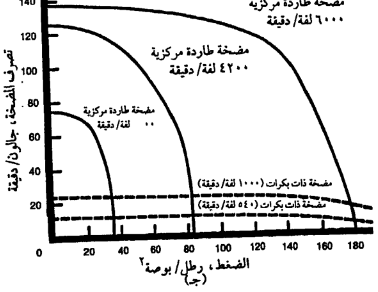
Typical Centrifugal Pump (Cutaway)

Typical Roller Pump (Cutaway)

دوار
بكرة
مكان توصيل عمود مأخذ القدرة
فتحة الدخول
عمود
(أ)

فتحة الخروج
دفاع
تهوية
عمود
فتحة الدخول
(ب)

منحنى الأداء



شكل ٧,٢٤. (أ) مضخة أسطوانية نمطية، (ب) مضخة طاردة مركزية نمطية، (جـ) منحنيات أداء المضخات الأسطوانية والطاردة المركزية.

(عن: .Bode and Butler, 1981)

يعتبر التيفلون مادة شائعة لعمل البكرات (الأسطوانات)، على الرغم من استخدام المطاط، و الصلب، والكربون. تعتبر المضخات الدورانية من هذا النوع

صغيرة الحجم وغير مكلفة نسبيًا، ويمكن أن تعمل على سرعات مناسبة للتوصيل المباشر مع عمود مأخذ القدرة في الجرار. وعلى الرغم من تصنيفها تحت المضخات موجبة الإزاحة، فإن التسرب الموجود خلف البكرات يتسبب في خفض قليل في السريان عند زيادة الضغط. ويتراوح التصرف العادي للمضخات الدورانية من ١٩ إلى ١١٤ لتر/ د (٥ إلى ٣٠ جالون/ د) وتتراوح أقصى ضغوط من ١ إلى ٣ ميجابسكال (١٥٠ إلى ٣٠٠ رطل/ بوصة[٢]). ومع ذلك، فلا يوصى عمومًا بضغوط أعلى من ٦٩٠ كيلوبسكال (١٠٠ رطل/ بوصة[٢]) للمضخات الدورانية عند ضخ سوائل غير زيتية (لاتستخدم في التزييت). تتآكل المضخات الدورانية بسرعة تحت ظروف الاحتكاك، ولكن يمكن استبدال البكرات بصورة اقتصادية.

المضخات الطاردة المركزية. تعتمد المضخات الطاردة المركزية كما هو موضح في الشكل رقم (٧,٢٤ب)، على قوة الطرد المركزي في عملية الضخ. وهي في الأساس ذات سرعات عالية (٣٠٠٠ إلى ٤٥٠٠ لفة/ د)، وتصرف حجمي كبير (٧٠ إلى ١٣٠ جالون/ د) ولاتناسب أجزاؤها استخدامات الضغط العالي. ينخفض إخراج المضخة بشدة عندما يكون ضغط المخرج أعلى مما يتراوح من ٢٠٦ إلى ٢٧٥ كيلوبسكال (٣٠ إلى ٤٠ رطل/ بوصة[٢]). يكون الضغط أو الضاغط المتولد لمضخات طاردة مركزية محددة وعند سرعة معينة دالة في معدل التصرف، كما هو مبين في منحنيات الأداء النمطية في الشكل رقم (٢٤, ٧ب). لاحظ أن ذروة الكفاءة، والتي تحدث عند معدل سريان عال نسبيًا، تكون أعلى بكثير من ٧٠٪ لهذه الوحدة على وجه الخصوص، بينما تكون الكفاءات عند السريان الصغير منخفضة.

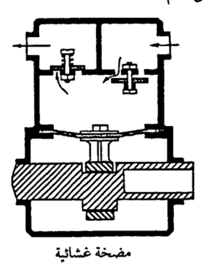
لمضخة معينة وعند نقطة محددة على منحنى الكفاءة، يتغير معدل التصرف طرديًا مع تغير السرعة، ويتغير الضاغط مع مربع السرعة، وتتغير القدرة مع مكعب السرعة. إذا تم توصيل مرحلتين أو أكثر على التوالي يتزايد الضاغط والقدرة عند معدل تصرف معين مع عدد المراحل. وبذلك، توفر المراحل المتعددة زيادة في الضغط دون زيادة معدل السعة.

تكون المضخات الطاردة المركزية شائعة لأنواع وأحجام معينة من الرشاشات بسبب بساطتها ومقدرتها على تداول المواد الاحتكاكية بصورة مرضية. كما أنها تكون

ملائمة جداً لمعدات مثل رشاشات تيار الهواء ورشاشات الطائرات، حيث يوجد احتياج لمعدلات سريان عالية بينما تكون الضغوط المطلوبة منخفضة نسبيًا، كما أنها تستخدم مع العديد من رشاشات الحقل المنخفضة الضغط. كما تكون السعات العالية مميزات للتقليب الهيدرولي ولترتيبات ملء الخزان. عمومًا، تتراوح سرعات هذه الاستخدامات من ١٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ لفة/ د، اعتماداً على الضغط المطلوب وقطر الدافع.

حيث إن المضخات الطاردة المركزية ليس لها إزاحة موجبة، فهي ليست ذاتية التحضير ولا تحتاج لصمامات تنفيس الضغط للحماية الآلية. يتم إجراء التحضير عادة بتثبيت المضخة أسفل أقل منسوب للسائل في الخزان أو بتوفير خزان داخلي في المضخة والذي يحتفظ دائمًا بكمية سائل كافية للتحضير الذاتي.

المضخات الغشائية. أصبحت المضخات الغشائية أكثر استخدامًا ومتوفرة بمعدلات سريان حتى ١٩ إلى ٢٣ لتر/ د (٥ إلى ٦ جالون/ د) وبضغوط حتى ٣,٤ ميجابسكال (٥٠٠ رطل/ بوصة^{2}). وبما أن الصمامات والغشاء هي الأجزاء المتحركة فقط والمتلامسة مع المادة التي تُرش، فيمكن لهذه المضخات أن تقوم بتداول المواد الاحتكاكية، الشكل رقم (٢٥, ٧).



مضخة غشائية

شكل ٢٥, ٧. مضخة غشائية موجبة الإزاحة. (عن: Deere and Co. © 1991.)

تحسب متطلبات قدرة المضخة بواسطة معدل تصرفها، وضغط التشغيل،

وكفاءتها الآلية . وتتراوح الكفاءة الآلية المستخدمة في تقدير متطلبات القدرة من ٥٠ إلى ٦٠٪ . تحسب القدرة المدخلة للمضخة باستخدام المعادلة التالية :

$$P = \frac{Q\,p}{60000\,\eta_m} \qquad (٧,١)$$

حيث :

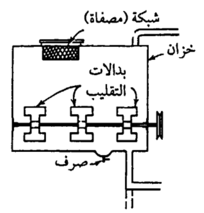
P = القدرة ، كيلوواط

Q = معدل السريان ، لتر/ د

p = الضغط ، كيلوبسكال

η_m = الكفاءة الآلية ، كسر عشري .

التقليب . العديد من المواد التي ترش تكون في صورة معلقات لمسحوق غير قابلة للذوبان أو في صورة مستحلب . وعلى ذلك ، تزود معظم الرشاشات بأنظمة تقليب إما آلية أو هيدرولية.



شكل ٧,٢٦ . التقليب الآلي .

(عن : Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978.)

التقليب الآلي . يتم الحصول على تقليب آلي إما بواسطة ريش مسطحة أو بدالات مثبتة على عمود يدور بكامل طول الخزان وبالقرب من القاع بسرعة تتراوح من ١٠٠ إلى ٢٠٠ لفة/ د ، الشكل رقم (٧,٢٦) . تطبق العلاقات التالية للخزانات

ذات قاع مستدير مع بدالات مسطحة على شكل حرف (I) تجرف بالقرب من قاع الخزان. وهذه العلاقات مبنية على نتائج منشورة أساسًا من (French, 1942) ومذكورة في (Kepner, 1978).

$$S_m = 5.39\ A^{0.422}\ R^{-0.531}\ F_e^{0.293} \qquad (٧,٢)$$

$$P_s = 3.26 * 10^{-11}\ R^{0.582}\ S^{3.41}\ L \qquad (٧,٣)$$

حيث:

S_m = أقل سرعة محيطية للبدالات، م/د

A = عمق السائل فوق الخط المركزي لعمود المقلب، م

R = المجموع الكلي لعرض جميع البدالات مقسومًا على طول الخزان

L = طول الخزان، م

P_s = القدرة المدخلة للعمود عند أي سرعة محيطية (S)، كيلوواط

F_e = معامل يوضح الصعوبة النسبية لتقليب مستحلب من الزيت والماء (هيدروليًا أو آليًا).

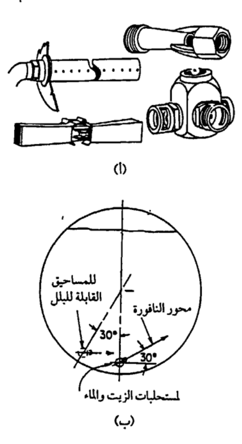
جدول ٧,١. قيم معاملات التقليب (F_e) لمستحلبات من الزيت والماء.

زيت (٪)	ماء (٪)	مستحلب (٪)	وضع النفاث (شكل٧,٢٩ ب)	المعامل (F_e)
٦٠	٤٠	٠	مستحلب	٠,٨٣
٥٠	٥٠	٠	مستحلب	١,٠٠
٤٠	٦٠	٠	مستحلب	١,٠٠
١٠	٩٠	٠	مستحلب	٠,٨٩
١-٢	٩٨-٩٩	٠	مستحلب	٠,٥٠
٤٠	٥٩,٩	٠,١	مستحلب	٠,٥٠
٤٠	٥٩,٩	٠,١	مسحوق قابل للبلل	٠,٦٨

يوضح الجدول رقم (٧,١) قيمة المعامل (F_e) لعدة مستحلبات من الزيت

والماء. حُددت هذه القيم أثناء اختبارات مع مقلب هيدرولي ولكن يفترض أنها تطبق بصورة مقبولة مع المقلب الآلي. أجريت اختبارات الباحث (French) مع مستحلب يحتوي على نسبة زيت تتراوح من ١ إلى ٢٪. ولاتوجد أي بيانات متاحة عن متطلبات التقليب الآلي لمعلقات من المساحيق القابلة للبلل.

تتسبب السرعات الطرفية للبدال عند حوالي ١٥٠ م/د (٥٠٠ قدم/د) في تكوين رغاوي بصورة ملحوظة لبعض المخاليط. وللتقليب الآلي لمستحلبات موجودة في خزانات ذات قاع مسطح وأركان مستديرة، يجب ضرب أقل سرعة للطرف من المعادلة رقم (٢, ٧) في المعامل ٢٢, ١. تتسبب هذه الزيادة في السرعة الدنيا في مضاعفة متطلبات القدرة الدنيا تقريبًا، المعادلة رقم (٣, ٧).



شكل ٧,٢٧. (أ) أنواع مختلفة من فوهات التقليب الهيدرولي، (ب) أوضاع الفوهات للتقليب في الخزان. (عن: أ- Bode and Butler,1981, ب- Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

التقليب الهيدرولي. يرجع جزء من تصرف المضخة إلى خزان الرش من خلال مجموعة متتالية من الفوهات النفاثة أو فتحات موجودة في أنبوب على طول قاع الخزان للحصول على تقليب هيدرولي. توفر الطاقة والتدويم الناتجين من النفاثات فعالية الخلط. يوضح الشكل رقم (٢٧ ,٧أ) فوهات تقليب هيدرولية مختلفة. وفي اختبارات مع خزانات أسطوانية متعددة المقاسات، وجد (Yates and Akesson, 1963) أنه يتم الوصول إلى أفضل النتائج عندما تكون الفوهات النفاثة مثبتة كما هو مبين بالشكل رقم (٢٧ ,٧ب). وكان الوضع الموضح لمسحوق قابلاً للبلل مرضيًا لمستحلبات تحتوي على ٤٠٪ زيت و٦٠٪ ماء عندما تم وضع المستحلب في التركيب. وتراوحت المسافة المرضية بين الفوهات من ٧٥ إلى ٧١٠م (٣ إلى ٢٨ بوصة) ولكن لاتزيد على ٣٠٥م (١٢ بوصة) لمسحوق قابل للبلل.

وقد وُجد أن أقل معدلات إعادة تدوير كلية للمقلب الهيدرولي في خزان أسطواني أو مستدير القاع، بناءً على الخلط الكامل لخزان ممتلىء بالمادة خلال ٦٠ ث، كما يلي:

لمستحلبات الزيت والماء:

$$Q_m = 3830 \frac{V F_e}{p^{0.56}} \quad (٧,٤)$$

للمساحيق القابلة للبلل:

$$Q_m = 1380 \frac{V F_e}{p^{0.35}} \quad (٧,٥)$$

حيث:

Q_m = أقل معدل إعادة تدوير كلي، لتر/ د

V = حجم الخزان، م^3

p = الضغط عند فوهة نفاث التقليب، كيلوبسكال (في المعتاد أن يكون ضروريًا بالمثل كما في ضغط فوهة الرش).

أخذت قيمة (F_e) اختياريًا لتساوي ١ لمخلوط وزنه ١٢٠ جرامًا من الكبريت

القابل للبلل لكل لتر من الماء (١ رطل/ جالون)، وذلك لكونها مادة يصعب المحافظة عليها في صورة معلق. ووجد أن قيم (F_e) لتركيزات ٦٠، ١٢، و٦ جم/ لتر (٥, ٠، ١, ٠، ٠٥, ٠. رطل/ جالون) كانت ٨٧, ٠، ٤٣, ٠، ٢٧, ٠ على التوالي. يبين الجدول رقم (١, ٧) أن إضافة مستحلب إلى مخلوط من الزيت والماء يؤدي إلى تقليل متطلبات التقليب كما يوضح أيضًا أن قيمة (F_e) تكون أكبر عندما تكون الفوهات في الوضع المثالي لمسحوق قابل للبلل، الشكل رقم (٢٧, ٧ب)، بدلاً من وضع المستحلب.

من العلاقات الأساسية لعلم الهيدروليا، تكون القدرة الهيدرولية المفيدة الخارجة والمطلوبة لأي معدل إعادة تدوير وضغط كما يلي:

$$P_h = \frac{Q_m \, P * 10^{-3}}{60} \quad (٦, ٧)$$

حيث:

P_h = قدرة هيدرولية، كيلوواط

Q_m = معدل إعادة التدوير الكلي، لتر/ د.

تكمن الميزة الأساسية للتقليب الهيدرولي في بساطته مقارنة بآلية وجهاز الإدارة المطلوبين للتقليب الآلي. في التقليب الهيدرولي، يجب أن تحتوي مضخة الرش على سعة إضافية مما يجعل متطلبات القدرة أكبر كثيراً من التقليب الآلي. وعلى وجه الخصوص عند الضغوط المرتفعة. للرشاشات مرتفعة الضغط، يكون التقليب الآلي بالتأكيد هو النظام الأكثر اقتصاداً.

مثال رقم (١, ٧)

احسب متطلبات القدرة لرشاشة أشجار فاكهة من النوع ذي حامل رش إذا كان ضغط مسدس الرش ١,٣٧٥ ميجابسكال، ومعدل السريان ١٥ لتر/ د. وكان القطر الداخلي للخرطوم ٢,٥٤ سم، وطوله ٥٠ متراً. وحجم الخزان ٣٧٥ لتراً ويحتوي على مسحوق قابل للبلل. ومن الموصى به أيضًا أن يتم التصميم على

أساس ٢٠٪ سعة إضافية للسريان لتعويض التآكل الطبيعي للمضخة. تتراوح الكفاءة الآلية للمضخة من ٥٠ إلى ٦٠٪. افترض أن لزوجة المادة الكيمياوية مثل لزوجة الماء عند درجة حرارة ٢١ °م أو تعادل ٩٨ , ٠ ميجابسكال . ث .

الحل. نحسب أولاً مقدار فقد الضغط في الخرطوم. نحدد نوع السريان بحساب قيمة رقم رينولد كما يلي:

$$R_e = \frac{4\,C\,\rho\,Q}{\pi\,\mu\,d} = \frac{4 * 16.67 * 1000\,(15 * 1.2)}{\pi * 0.98 * 25.4} = 15348$$

لاحظ أن $(Q = 15 * 1.2)$ للأخذ في الاعتبار نسبة ٢٠٪ سعة إضافية كما هو مطلوب في المثال. ويكون السريان اضطرابيًا تام التكوين نظرًا لأن رقم رينولد أكبر من ٤٠٠٠. ولحساب انخفاض الضغط، نستخدم المعادلة التالية، معادلة رقم (٣, ٤٩):

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{0.0333\,\mu^{0.25}\,\rho^{0.75}\,Q^{1.75}}{d^{4.25}}$$

$$= \frac{0.0333\,(0.98)^{0.25}\,(1000)^{0.75}\,(15 * 1.2)^{1.75}}{(25.4)^{4.25}} = 0.992 \text{ kPa/m}$$

وتكون قيمة هبوط الضغط:

$$\Delta p = 0.992 * 50 = 49.59 \text{ kPa}$$

وعلى ذلك، يكون الضغط الكلي المطلوب عند المضخة مساويًا:

$$p = 1375 + 49.59 = 1424.59 \text{ kPa}$$

بعد ذلك، يحسب معدل السريان المطلوب للتقليب الهيدرولي باستخدام المعادلة التالية لمسحوق قابل للبلل:

$$Q_m = 1380\,\frac{V\,F_e}{p^{0.35}}$$

$$Q_m = \frac{1380\ (0.375)\ 0.68}{(1425)^{0.35}} = 27.7\ L/min$$

وعلى ذلك يكون السريان الكلي الذي يجب توليده من المضخة :

$$Q = 15\ (1.2) + 27.2 = 45.2\ L/min$$

وتكون القدرة الخارجة من المضخة من المعادلة رقم (٧, ١٤) :

$$P = 1.667 * 10^{-5}\ Q\ p$$
$$= 1.667 * 10^{-5}\ (45.2)\ (1424.59) = 1.07\ kW$$

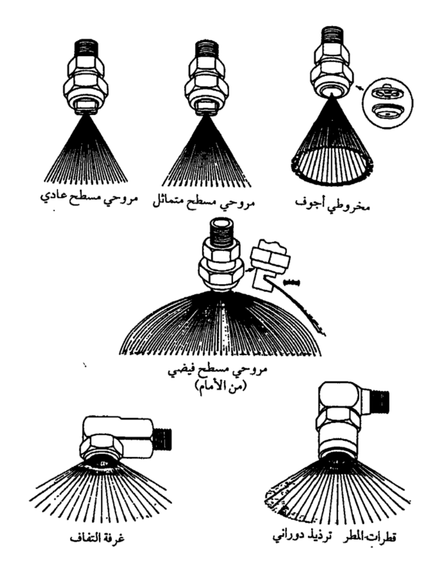
وباعتبار الكفاءة الأقل ٥٠٪ تكون القدرة المدخلة مساوية لـ:

$$P_{input} = \frac{1.07}{0.5} = 2.14\ kW$$

الترذيذ . الهدف الرئيس من الترذيذ هو زيادة مساحة سطح السائل وذلك بتفتيته إلى العديد من القطيرات للحصول على تغطية فعالة لأسطح النبات والتربة . أثناء الترذيذ، تنقل الطاقة إلى السائل لتفتيته إلى قطيرات صغيرة عن طريق التغلب على الشد السطحي، واللزوجة والقصور الذاتي. واعتماداً على شكل الطاقة المستخدمة لإنتاج الترذيذ، تُقسم المرذاذات إلى مرذاذات ضغط ، دورانية ، أو هوائية . تعتبر مرذاذات الضغط من أكثر الأنواع شيوعًا للاستخدام في الزراعة، على العكس من النوع الهوائي الذي لايوجد له استخدامات في الزراعة .

مرذاذات الضغط . تستخدم طاقة الضغط لتفتيت نفاث من السائل . واعتماداً على نموذج الرش، مرذاذات الضغط - يشار إليها عادة كفوهات ، يمكن أن تقسم إلى الأنواع التالية ، الشكل رقم (٧, ٢٨). يوضح الشكل رقم (٧, ٢٩)

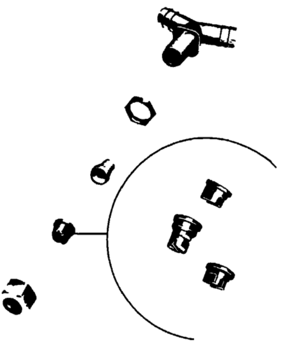
مجموعة فوهات نمطية.



شكل٧,٢٨. أنواع مختلفة من المرذاذات. (عن: .Bode and Butler, 1981)

مرذذ مروحي مسطح عادي. تستخدم المرذاذات المروحية المسطحة العادية لمعظم التطبيقات الكثيفة لمبيدات الحشائش ولبعض المبيدات عندما لايكون التغلغل في أوراق النبات ضروريًا. حيث تنتج هذه المرذاذات مخاريط رش ذات حافة

مستدقة مسطحة ممايتطلّب تداخلاً في نموذج الرش للحصول على تماثل في التغطية. تتراوح زاوية الرش بين ٦٥ و ١١٠° و ٨٠° هي الأكثر شيوعًا. بصفة عامة، تكون المسافة بين مرذاذات الرش ٥٠ سم على الحامل. ويتغير ارتفاع الحامل حسب زاوية الرش ومقدار التداخل المطلوب. ويكون أقل تداخل مطلوب هو ٥٠٪ للتغطية المتماثلة.



شكل ٢٩,٧. مجموعة فوهات نمطية. (عن: Deere and Co. © 1991)

يتراوح ضغط التشغيل عمومًا من ١٠٠ إلى ٢٠٠ كيلوبسكال (١٥ إلى ٣٠ رطل/ بوصة[٢]) عند رش مبيدات الحشائش لإنتاج قطيرات متوسطة إلى كبيرة لاتكون معرضة للانجراف. وتنتج القطيرات الأصغر بزيادة الضغط. ترش بعض مبيدات الحشائش عند ضغط يتراوح من ٢٧٥ إلى ٤١٣ كيلوبسكال (٤٠ إلى ٦٠ رطل/ بوصة[٢]) لإنتاج قطيرات أصغر للتغطية العظمى. يتوفر المرذذ المروحي المسطح للضغط المنخفض والذي يعطي نموذجًا عاديًا عند ضغوط تتراوح من ٦٩ إلى ١٧٢ كيلوبسكال (١٠ إلى ٢٥ رطل/ بوصة[٢]). ينتج من التشغيل على ضغوط أقل

قطيرات تكون أكبر حجمًا وأقل انجرافًا.

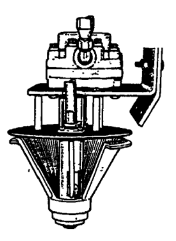
مرذذ رش مروحي مسطح متماثل. كما يبين الاسم، تكون كثافة الرش أكثر انتظامًا على طول عرض الرش مقارنة بالرش المروحي المسطح القياسي والذي له توزيع رش مخروطي. وبما أن التداخل سيؤدي لإنتاج نموذج رش غير متماثل جدًا، فإن هذه المرذاذات تستخدم فقط للتوزيع الشريطي فوق الصفوف أو بينها. حيث يتم تحديد عرض الشريط بضبط ارتفاع الحامل. وتتراوح زوايا الرش التقليدية بين ٨٠ و ٩٥° ويتراوح ضغط التشغيل من ١٠٠ إلى ٢٠٠ كيلوبسكال (١٥ إلى ٣٠ رطل/ بوصة^{2}).

مرذاذات فيضية مروحية مسطحة. تنتج المرذاذات الفيضية المروحية المسطحة نموذج رش أعرض من المرذاذات المروحية المسطحة. وهي أكثر ملاءمة للتوزيع بالنثر حيث يكون تماثل التوزيع على السطح حرجًا. ويمكن الحصول على توزيع رش منتظم باستخدام نسبة تداخل ١٠٠٪ لنماذج رش فردية. تنتج هذه المرذاذات قطيرات كبيرة وتقلل الانجراف، عندما تعمل على ضغوط تتراوح من ٥٥ إلى ١٧٠ كيلوبسكال (٨ إلى ٢٥ رطل/ بوصة^{2}). يؤثر تغير الضغط على تماثل نموذج الرش في المرذاذات الفيضية المروحية المسطحة أكثر من تأثيره على المرذاذات المروحية المسطحة العادية.

مرذاذات رش ذات مخروط أجوف (نوع قرصي وذو قلب). كما يبين الاسم، يستخدم المرذذ قطعتين، قلب قرص، وطرف رش مخروطي أجوف. يعطي القلب للسائل تأثيرًا مضطربًا قبل تلقيمه خلال فتحة القرص، مما ينتج عنه نموذج دائري للرش على شكل مخروط أجوف. تكون هذه المرذاذات أكثر ملاءمة للرش المباشر في رش محاصيل الصفوف عندما لا يكون الانجراف مهمًا عند تشغيل هذه المرذاذات على ضغوط تتراوح من ٢٧٥ إلى ٥٥٠ كيلوبسكال (٤٠ إلى ٨٠ رطل/ بوصة^{2}). وبما أن القطيرات صغيرة، فإن هذه المرذاذات تناسب مبيدات الحشائش التلامسية، ومبيدات الحشرات، ومبيدات الفطريات، حيث تكون التغطية الكاملة لأوراق النبات أساسية.

مرذاذات ذات مخروط أجوف وغرفة التفاف. تحتوي هذه

المرذاذات على غرفة التفاف فوق مخرج مخروطي الشكل فينتج عنها نموذج مخروطي أجوف ذو زاوية مخروط حتى ١٣٠°. وأكثر ماتلائم هذه المرذاذات عملية التوزيع بالنثر السطحي لمبيدات الحشائش. للحصول على أفضل نتائج، يتم إمالة المرذذ إلى الخلف بزاوية ٤٥°. وبما أن القطيرات تميل لأن تكون أكبر، فإن هذه المرذاذات تكون أكثر ملاءمة للمبيدات الجهازية للحشائش حيث يكون الانجراف مشكلة أساسية. يتراوح ضغط التشغيل من ٣٥ إلى ١٣٨ كيلوبسكال (٥ إلى ٢٠ رطل/ بوصة[٢]).

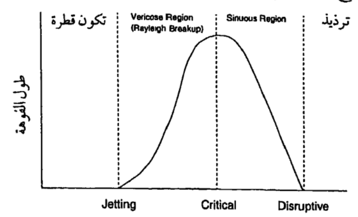


شكل ٧,٣٠. مرذاذ ذو تحكم في القطيرات. (عن: Farm Fans, Inc.)

مرذاذات دورانية. في المرذاذات الدورانية، تأتي القدرة اللازمة لإنتاج القطيرات من جهاز دوراني قد يكون عجلة، قرص أو وعاء. يوضح الشكل رقم (٧,٣٠) مرذاذاً دورانياً. المرذاذات الدورانية غير شائعة الاستخدام في الموزعات الزراعية مثل مرذاذات الضغط. وتسمى المرذاذات الدورانية أيضًا باسم مرذاذات التحكم في القطيرات وذلك لمقدرتها على إنتاج قطيرات أكثر تماثلاً وذات حجم مرغوب فيه.

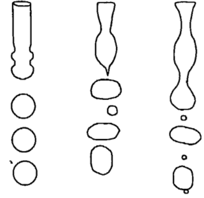
نظرية الترذيذ بالضغط. يعتبر الترذيذ عملية معقدة جداً ويعتمد بشدة على نوع المرذاذ. ولفهم أكثر لهذه العملية، سوف نناقش تكسر (تفتت) تيارات من

السائل، شرائح من السائل، وقطيرات السائل.



شكل ٧,٣١. مراحل تكسر تيار سائل. (عن: Keith and Hixon, 1955)

تكسر تيار السائل. مع زيادة معدل سريان السائل خلال مرذذ أفقي، يمر السائل خلال المراحل التالية اعتماداً على رقم رينولد، الشكل رقم (٧,٣١).



شكل ٧,٣٢. تكسر مثالي وحقيقي لتيار سائل. (عن: Marshall, 1954)

تكوين قطيرة. تتشكل قطيرات فردية مع معدلات سريان منخفضة عند طرف المرذذ ثم تكبر في الحجم حتى يتغلب الوزن على الشد الموجود بين سطحين مما يؤدي إلى تحرر القطيرة، الشكل رقم (٧,٣٢).

منطقة الاتساع. مع زيادة سرعة التيار، تظهر بروزات (انتفاخات)

وانكماشات (انقباضات) متماثلة وتحدث استطالة في التيار. وتصبح القطيرات أصغر وأقل انتظامًا.

منطقة تعرج. تتسبب أي زيادة أخرى في السرعة في إحداث تذبذبات مستعرضة في التيار. يتموج التيار بشكل غير منتظم على هيئة منحنى بشكل حرف (S). ويصبح التيار أقصر وتصبح القطيرات أكبر.

الترذيذ. أخيراً، ينقسم التيار إلى قطيرات صغيرة، عادة خلال مسافة تعادل ١٥ ضعفًا من قطر فتحة التيار. ويكون التفتت عالي التشويش. تنفصل الأربطة عند القمة عندما يتذبذب التيار مما يؤدي إلى انقسام آخر إلى قطيرات. وتتوافق هذه الحالة مع الحالة العادية عندما تستخدم فتحة بسيطة للترذيذ.

يعطي المعيار التالي لمرحلة التحول لهذه المنطقة:

$$\left(\frac{d_j\ v_j\ \rho_l}{\mu_l}\right) > 2.8 * 10^2 \left[\frac{\mu_l}{\left(\sigma\ \rho_l\ d_j\right)^{1/2}}\right]^{-0.82} \qquad (٧,٧)$$

حيث:

d_j = قطر التيار

v_j = سرعة التيار

ρ_l = كثافة السائل

μ_l = لزوجة السائل

σ = الشد السطحي.

يمكن حساب سرعة التيار كما يلي وذلك بمجرد معرفة السريان خلال المرذذ:

$$v_j = C_v \left(2\ \frac{\Delta p}{\rho_l}\right)^n \qquad (٧,٨)$$

حيث:

v_j = سرعة التيار

C_v = معامل السرعة

Δp = الهبوط الكلي في الضغط
n = (٠,٥) للسريان الاضطرابي
ρ = الكثافة الكتلية للسائل.

يمثل معامل التصرف النسبة بين المعدل الفعلي لتصرف السائل إلى المعدل النظري الممكن. ويحسب معدل السريان الحجمي من المعادلة التالية:

$$Q = v_j C_A A \qquad (٧,٩)$$

حيث:

C_A = معامل المساحة، بدون وحدات
A = مساحة فتحة المرذذ، م[٢]

تأخذ قيمة (C_A) في الحسبان تأثيرات تخصر فوهة النفاث. وبدمج المعادلتين رقمي (٧,٨) و(٧,٩) نحصل على:

$$Q = C_v \left(2 \frac{\Delta p}{\rho_1}\right)^{1/2} C_A A \qquad (٧,١٠)$$

الآن، إذا وضعنا معامل التصرف ($C_D = C_v C_A$)، فإن المعادلة السابقة تصبح:

$$Q = C_D A (2gh)^{1/2} = C_D A \left(2 \frac{\Delta p}{\rho_1}\right)^{1/2} \qquad (٧,١١)$$

كما يمكن حساب السرعة المتوسطة للتيار من المعادلة السابقة كمايلي:

$$v_j = \frac{Q}{C_D A} \qquad (٧,١٢)$$

يتغير معامل التصرف (C_D) اعتماداً على مقاس الفتحة وتصميم المرذذ. ولمرذذ

معلوم، برسم معدل السريان مقابل الجذر التربيعي لانخفاض الضغط، يكون ميل المنحنى ($C_D\ A\ \sqrt{2}\ \sqrt{\rho_l}$) والذي يمكن حساب معامل التصرف منه.

مثال رقم (٢, ٧)

قدم أحد صانعي مرذاذات الرش المعلومات التالية عن الضغط ومعدل السريان لمرذذ ذي مخروط أجوف يرش ماء.

قطر الفتحة (م)	معدل سريان المرذذ(لتر/د) الضغط (كيلوبسكال)									
	٢٠٧	٢٧٦	٣٤٥	٤١٤	٥٥٢	٦٨٩	٨٦٢	١٠٣٤	١٣٧٩	٢٠٦٨
٢,٣٩	١,١٧	١,٦٣	١,٨٢	٢,٠٠	٢,٣١	٢,٥٧	٢,٩٥	٣,١٤	٣,٧١	٤,٥٤

احسب للمرذذ الموضح مقدار السريان المطلوب لإنتاج مرحلة الترذيذ لتيار من الماء صادر من المرذذ.

الحل. سوف تستخدم المعادلة رقم (٧, ٧) لإيجاد سرعة التيار المطلوبة لإعطاء الترذيذ. ويمكن إعادة كتابة هذه المعادلة كما يلي:

$$v_j > 280\ \frac{\sigma^{0.42}}{\rho_l^{0.59}}\ \frac{\mu_l^{0.15}}{d_j^{0.59}}$$

بالنسبة للماء،

σ = ٠,٠٧٢٨ . نيوتن/م

μ_l = ١ ميللي بسكال. ث

ρ_l = ١٠٠٠ كجم/م^{٣}.

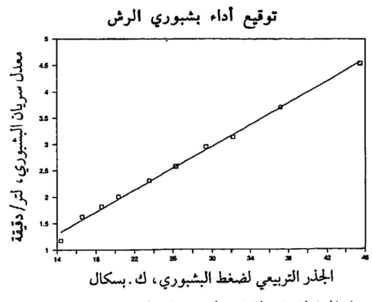
باستخدام القيم الموضحة نجد أن : $(V_j > 16.06 \text{ m/s})$

يمكن استخدام المعادلة رقم (٧ , ١٢) لحساب السريان المرتبط بأدنى سرعة تيار ١٦,٠٦ م/ ث كما يلي :

$$Q = C_D \, A \, v_j$$

إلا أنه، يجب تقدير معامل التصرف (C_D) باستخدام البيانات المعطاة من الصانع . فإذا رسمنا سريان المرذذ مقابل الجذر التربيعي لضغط البشبوري، كما هو موضح بأسفل، فنجد أن الميل كما يلي :

$$0.104 \, \frac{\text{L/min}}{\sqrt{\text{kPa}}} \quad \text{or} \quad 1.735 * 10^{-6} \, \frac{\text{m}^3\text{/s}}{\sqrt{\text{kPa}}}$$



باستخدام المعادلة رقم (٧ , ١١) نحصل على :

$$\frac{C_D \, A \sqrt{2}}{\sqrt{\rho_l}} = 1.735 * 10^{-6} \, \frac{\text{m}^3\text{/s}}{\sqrt{\text{kPa}}}$$

أو

$$C_D = \frac{\sqrt{\rho_l}}{A\sqrt{2}} * 1.735 * 10^{-6}$$

بالتعـويض عن قيم (ρ_l) و (A)، نحصل على قيمة (C_D) = ٢٧٤ , ٠ . لاحظ أن هذه القيـمة أقل بكثير من ٦١١ , ٠ وهي القيمة المستـخدمة عادة مع فتحة السريان الاضطرابي. ويرجع السبب في ذلك إلى استخدام ملحقات ومصافي في المرذذ أثناء العمل.

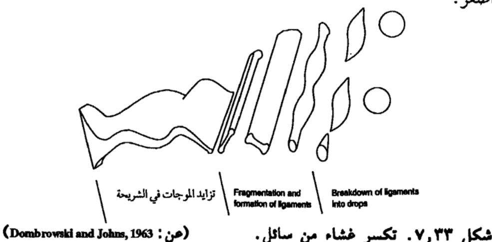
بمعلومية (C_D) ، يمكن حساب السريان كما يلي:

$$Q = 0.274 \left[\frac{\pi}{4} \left(2.39 * 10^{-3}\right)^2 \right] 16.06$$

$$= 19.7 * 10^{-6} \ m^3/s$$

$$= 1.18 \ L/min$$

يجب مـلاحظة أن هذه القـيـمـة ترتبط بانخـفـاض في الضـغط يعـادل ٢٠٧ ك . بسكال. فإذا تم تشغيل المرذذ على ضغط أقل من ٢٠٧ ك .بسكال، فلن يحدث ترذيذ. كما يجب أيضًا ملاحظة أن هذه القيمة ترتبط بأدنى قيمة من الضغط المعطى من الصانع. وإذا كان من المرغوب فيه سريان أقل من ذلك، فيجب استخدام فتحة أصغر.



شكل ٧,٣٣. تكسر غشاء من سائل. (عن : Dombrowski and Johns, 1963)

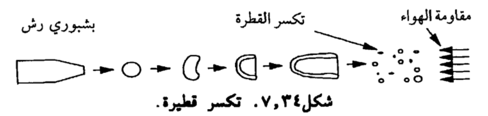
تكسر غشاء سائل. عند ضخ السائل خلال مرذذ سواء كان نفاثًا مروحيًا أو دواميًا، تشكل غشاء من السائل. ثم تكسر غشاء السائل إلى قطيرات متعددة الأحجام. وتكون آلية تكسر الغشاء معقدة وتعتمد على عدة عوامل. ومع ذلك، فقد أمكن ملاحظة أربعة آليات رئيسة، الشكل رقم (٧,٣٣):

تفتيت الحافة (الإطار). تنكمش الحافة الحرة من الغشاء على شكل أسطوانة، ثم تبدأ في التكسر بدءاً من السطح في صورة نقاط كبيرة يتبعها أصابع من السائل.

تثقيب الغشاء. تظهر ثقوب في الغشاء والتي تتمدد تحت تأثير الشد السطحي حتى تتبقى الأربطة.

موجات غير مستقرة. تتشكل موجات غير مستقرة في الغشاء في اتجاه عمودي على اتجاه سريان السائل. يتزايد الاتساع حتى يتكسر الغشاء.

تكسر الغشاء السميك. تنسكب قمم الغشاء على هيئة أربطة.



شكل٧,٣٤. تكسر قطيرة.

تكسير القطيرات. تنقسم القطيرات مرة أخرى في تيار هواء إذا تجاوزت قوى التحركات الهوائية مقدار قوة الشد السطحي. قد يحدث هذا مع رشاشات الحمل الهوائي. يوضح الشكل رقم (٧,٣٤) تكسر القطيرة.

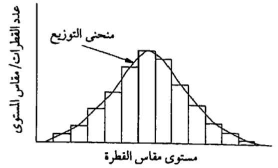
مقاس وتوزيع القطيرات. يتم تصنيف قطيرات الرش المنتجة من المرذاذ بواسطة قطرها. يقاس قطر القطيرة بوحدات الميكرومتر (μm) أو الميكرون (μ). يعادل الميكرون الواحد جزءاً من المليون من المتر أو ١/ ٢٥٤٠٠ من البوصة ويستطيع شخص ذو قوة إبصار عادية رؤية ١٠٠ ميكرون بدون تكبير. وعند ترذيذ السائل تتشكل قطيرات بمقاسات متعددة. يعتمد أداء وفعالية المرذاذ على مقاس القطيرة

جدول٢,٧. مقاس قطيرة الرش وتأثيرها على التغطية.

(عن: Bode and Butler, 1981)

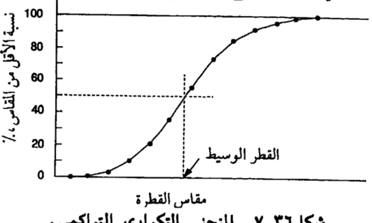
قطر القطيرة ميكرون	نوع القطيرة	المساحة بالنسبة لقطيرة مقاس ١٠ميكرونات	الحجم بالنسبة لقطيرة مقاس ١٠ ميكرونات	عدد القطيرات لكل سم٢	التغطية بالنسبة لقطيرة مقاس ١٠٠٠ ميكرون
				(معدل الرش ١٠ لتر/هـ)	
٥	ضباب جاف	٠,٢٥	٠,١٢٥	١٥٢٤٦٤٧	٢٠٠
١٠		١	١	١٩٠٥٨١	١٠٠
٢٠	ضباب مبلل	٤	٨	٢٣٨٢٢	٥٠
٥٠		٢٥	١٢٥	١٥٢٥	٢٠
١٠٠	مطر ضبابي	١٠٠	١٠٠٠	١٩١	١٠
١٥٠		٢٢٥	٣٣٧٥	٥٦	٦,٧
٢٠٠	مطر خفيف	٤٠٠	٨٠٠٠	٢٤	٥
٥٠٠		٢٥٠٠	١٢٥٠٠٠	١,٥	٢
١٠٠٠	مطر غزير	١٠٠٠٠	١٠٠٠٠٠٠	٠,٢	١

وتوزيعها. يوضح الجدول رقم (٢ , ٧) بعض الخصائص لقطيرات متعددة المقاس. إن المساحة المغطاة وحجم السائل في القطيرة الواحدة يكونان مهمين في تحقيق فعالية وكفاءة التوزيع. فالقطيرات الأصغر من نفس الحجم توفر تغطية أكثر. على سبيل المثال، عند انقسام قطيرة مقاس ٢٠٠ ميكرون إلى ٦٤ قطيرة مقاس ٥٠ ميكرونًا فإنها ستغطي أكثر من أربعة أضعاف المساحة المعطاة من قطيرة واحدة مقاس ٢٠٠ ميكرون. يكون توزيع القطيرات مهمًا من وجهة نظر انجراف الرش. وكما هو موضح في الجدول رقم (٥ , ٧)، فكلما كان مقاس القطيرة أصغر كلما أخذت وقتًا أطول لتستقر، وكلما كانت احتمالية انجرافها أعلى. يجب ملاحظة أن القطيرات تتبخر أثناء الطيران. وكلما تبخرت كلما أصبحت أصغر وبالتالي تتزايد فرصة انجرافها.

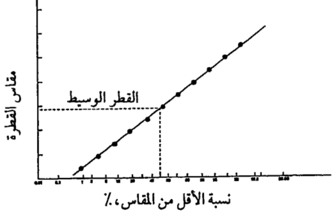


شكل٧,٣٥. خارطة لمقاس القطيرات وتكرارها.

يمكن تمثيل توزيع مقاس القطيرات بواسطة منحنى لعدد الجزيئات لقطر معطى، كما في الشكل رقم (٧,٣٥). يسمى المنحنى بالرسم البياني. المنحنى الأملس الذي يمر خلال النقاط المركزية العظمى لكل مقاس يعطي منحنى التوزيع. يمثل هذا المنحنى بالدالة (f (x))، ويطلق عليه عادة اسم دالة التوزيع. فإذا كانت دالة التوزيع معلومة بوضوح، فيكون هناك احتياج لقليل من العوامل لتعريف التوزيع (مثل، القطر المتوسط والانحراف المعياري). ويعتبر أدنى وأقصى مقاس من العوامل الإضافية، وترتبط عادة بالتوزيع. أحيانًا، تكون مساحة السطح أو حجم القطيرة أكثر ارتباطًا في توزيعات معينة بدلاً من القطر. فإذا استخدم ذلك كإحداثي رأسي فإن المنحنى الموجود في الشكل رقم (٧,٣٥) سوف ينحرف (يميل) إلى اليمين بسبب التأثير الوزني لمساحة السطح أو الحجم المتعلق بقطر القطيرة.



شكل٧,٣٦. المنحنى التكراري التراكمي.



شكل ٧,٣٧. منحنى تكراري تراكمي على ورقة احتمالات عادية.

إن الطريقة الأكثر تعبيراً لتمثيل توزيع مقاس القطيرات تكون برسم الجزء التراكمي للعدد الكلي الأقل من مقاس معين مقابل هذا المقاس المعطى. يسمى هذا المنحنى باسم المنحنى التكراري التراكمي وهو موضح في الشكل رقم (٧,٣٦). والطريقة الأكثر تعبيراً هي رسم البيانات على ورقة احتمالات كما هو موضح في الشكل رقم (٧,٣٧). وقد تم توقيع قطر القطيرة على المحور الرأسي (y) ووقعت على المحور الأفقي النسبة التراكمية لعدد القطيرات، أو الطول، أو مسافة السطح أو الحجم. إن منحنيات العدد التراكمي والحجم التراكمي هي من أكثر المنحنيات شيوعًا في الاستخدام لتوزيع المبيدات. ويعبر ميل المنحنى عن تماثل توزيع مقاس القطيرات.



شكل ٧,٣٨. منحنيات العدد والحجم التراكميين لمرذذ رش نمطي.

(عن: Bode and Butler, 1981)

الأقطار الوسيطة للقطيرة. يقسم القطر الوسيط كمية الرش إلى قسمين متساويين في العدد، و الطول، ومساحة السطح، أو الحجم. يتم إيجاد الأقطار الوسيطة للعدد والحجم من منحنيات الاحتمالات التراكمية مثل الموضحة في الشكل رقم (٧,٣٨). حيث أمكن اقتراح طريقة متماثلة للتعبير عن الأقطار الوسيطة بالرمز (D_{xf}). حيث يمكن استبدال (x) بالرمز (v) للحجم، (A) للمساحة، (L) للطول، أو (N) للعدد، أما (f) فهي الجزء الموجود على منحنى التوزيع التراكمي. وعلى ذلك، فإن ($D_{v.5}$) تعبر عن القطر الوسيط للحجم وأن ٥٠٪ من حجم السائل في صورة قطيرات أقل من هذا القطر و٥٠٪ قطيرات أكبر من هذا القطر.

الأقطار المتوسطة للقطيرة. الأقطار المتوسطة للقطيرة هي متوسطات موزونة. ويعتمد اسمها على الطريقة المستخدمة لحساب المتوسط. يمكن استخدام المعادلة التالية لحساب الأقطار المتوسطة:

$$\overline{D}_{pq}^{p-q} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} N_i D_i^p}{\sum_{i=1}^{n} N_i D_i^q} \right)^{1/(p-q)} \qquad (٧,١٣)$$

حيث:

q, p = ١، ٢، ٣ أو ٤ و (p > q)

D_i = قطر القطيرة لمستوى المقاس (i)

N_i = عدد القطيرات الموجودة في مستوى المقاس (i)

i = رقم مستوى المقاس

n = عدد مستويات المقاس.

يمكن حساب عدد متغير من المتوسطات الموزونة بناءً على عدد القطيرات في كل مستوى مقاس. وتشمل المتوسطات الشائعة الاستخدام كلاً من: المتوسط الحسابي (D_{10})، ومتوسط السطح (D_{20})، ومتوسط الحجم (D_{30}) ومتوسط سوتر (Sauter) (D_{32}). يحسب المتوسط الحسابي بجعل (p = 1) و (q = 0) في المعادلة السابقة

ويكون هو المتــوسط الموزون لجــمــيع أقطار القطيــرات في الرش. ويكون القطر المتوسط للحجم (p = 3, q = 0) هو قطر القطيرة الذي يساوي حجمها مضروبًا في عـدد القطيـرات الموجـودة في الرش مـعـادلاً للحـجم الكلي للرش. بينمـا يحـسب متوسط سوتر للقطر بجعل (p = 3, q = 2) وهو يعبر عن مؤشر لنسبة حجم قطيرات الرش إلى سطحـهـا. وبالمثل، فـإن متـوسط مـسـاحـة السطح (p = 2, q = 0) هو قطر القطيرة التي بضرب مساحة سطحها في عدد القطيرات الموجودة في الرش يعطي مساحة السطح الكلية لجميع القطيرات.

لا يوجد اتفاق عام على طريقة معينة لوصف أقطار القطيرات يمكن أن توصف بأنها الأفضل في مجال توزيع الكيمياويات الزراعية. إلا أن أكثر الطرق شيوعًا في الاستخدام هي متوسط حجم القطيرات ومتوسط سوتر للقطر. إن الأقطار الوسيطة تحتوي على معنى طبيعي أفضل، حيث يتم تقسيم نطاق القطيرة بالتساوي على حسب العدد، والمساحة، والحجم، . . . إلخ.

مثال رقم (٣,٧)

للبيـانات المعطاة في الجـدول التـالي، احـسب أقطار القطيـرات المتـوسطة والوسيطة.

مدى مستوى المقاس (ميكرون)	العدد في كل مستوى مقاس	مستوى المقاس (ميكرون)	العدد في كل مستوى مقاس
٤٦-١٩	٦٩٩	٢٥٩-٢٣١	٢٤٥
٧٢-٤٦	٣٢٦	٢٨٤-٢٥٩	٢٧٢
٩٩-٧٢	٨٥	٣١٠-٢٨٤	٢٩٧
١٢٥-٩٩	١١٢	٣٣٦-٣١٠	٣٢٣
١٥٢-١٢٥	١٣٨	٣٦٣-٣٣٦	٣٤٩
١٧٨-١٥٢	١٦٥	٣٨٩-٣٦٣	٣٧٦
٢٠٤-١٧٨	١٩١	٤١٥-٣٨٩	٤٠٢
٢٣١-٢٠٤	٢١٧		

الحل. يتم حساب متوسط أقطار القطيرات من الجدول التالي:

(عن : Bode and Butler, 1981)

مدى مستوى المقاس (ميكرون)	نقطة وسط مستوى المقاس D (ميكرون)	العدد في كل مستوى مقاس (N)	(ND) (μ)	(ND^2) (μ^2)	(ND^3) (μ^3)
١٩-٤٦	٣٢	٦٩٩	٢٢٣٦٨	٧١٥٧٧٦	٢٢٩٠٤٨٣٢
٤٦-٧٢	٥٩	٣٢٦	١٩٢٣٤	١١٣٤٨٠٦	٦٦٩٥٣٥٥٤
٧٢-٩٩	٨٥	٢٨٢	٢٣٩٧٠	٢٠٣٧٤٥٠	١٧٣١٨٣٢٥٠
٩٩-١٢٥	١١٢	٢٨٦	٣٢٠٣٢	٣٥٨٧٥٨٤	٤٠١٨٠٩٤٠٨
١٢٥-١٥٢	١٣٨	٢٤٣	٣٣٥٣٤	٤٦٢٧٦٩٢	٦٣٨٦٢١٤٩٦
١٥٢-١٧٨	١٦٥	٢٠١	٣٣١٦٥	٥٤٧٢٢٢٥	٩٠٢٩١٧١٢٥
١٧٨-٢٠٤	١٩١	١٥٠	٢٨٦٥٠	٥٤٧٢٢٢٥	١٠٤٥١٨٠٦٥٠
٢٠٤-٢٣١	٢١٧	٨٨	١٩٠٩٦	٤١٤٣٨٣٢	٨٩٩٢١١٥٤٤
٢٣١-٢٥٩	٢٤٥	٥٠	١٢٢٥٠	٣٠٠١٢٥٠	٧٣٥٣٠٦٢٥٠
٢٥٩-٢٨٤	٢٧٢	٤٣	١١٦٩٦	٣١٨١٣١٢	٨٦٥٦١٣٨٦٤
٢٨٤-٣١٠	٢٩٧	١٣	٣٨٦١	١١٤٦٧١٧	٣٤٠٥٧٤٩٤٩
٣١٠-٣٣٦	٣٢٣	١٢	٣٨٧٦	١٢٥١٩٤٨	٤٠٤٣٧٩٢٠٤
٣٣٦-٣٦٣	٣٤٩	٥	١٧٤٥	٦٠٩٠٠٥	٢١٢٥٤٢٧٤٥
٣٦٣-٣٨٩	٣٧٦	٢	٧٥٢	٢٨٢٧٥٢	١٠٦٣١٤٧٥٢
٣٨٩-٤١٥	٤٠٢	١	٤٠٢	١٦١٦٠٤	٦٤٩٦٤٨٠٨
		٢٤٠١	٢٤٦٦٣١	٣٦٨٢٦١٧٨	٦٨٨٠١٨١٤٣١

$\overline{D}_{30} = 142.0$ $\overline{D}_{20} = 123.8$ $\overline{D}_{10} = 102.7$

$\overline{D}_{31} = 167.0$ $\overline{D}_{21} = 149.3$

$\overline{D}_{32} = 186.8$

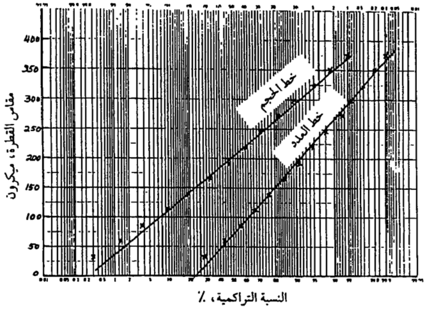
لإيجـاد الأقطار الوسـيطة ، أكـمل الجـدول التـالي كـمـا هو مـوضح ثـم ارسم البيانات على منحنى الاحتمالات كما هو موضح . وتستخرج الأقطار المتوسطة من المنحنى .

نقطة وسط مستوى المقاس (ميكرون)	العدد في كل مستوى مقاس	نسبة العدد في كل مستوى (٪)	النسبة التراكمية بالعدد (٪)	الحجم في كل مستوى (٪)	النسبة التراكمية بالحجم (٪)
٣٢	٦٩٩	٢٩,١	٢٩,١	٠,٣	٠,٣
٥٩	٣٢٦	١٣,٦	٤٢,٧	١,٠	١,٣
٨٥	٢٨٢	١١,٧	٥٤,٤	٢,٥	٣,٨
١١٢	٢٨٦	١١,٩	٦٦,٣	٥,٨	٩,٦
١٣٨	٢٤٣	١٠,١	٧٦,٤	٩,٣	١٨,٩
١٦٥	٢٠١	٨,٤	٨٤,٨	١٣,١	٣٢,٠
١٩١	١٥٠	٦,٢	٩١,٠	١٥,٢	٤٧,٢
٢١٧	٨٨	٣,٧	٩٤,٧	١٣,١	٦٠,٣
٢٤٥	٥٠	٢,١	٩٦,٨	١٠,٧	٧١,٠
٢٧٢	٤٣	١,٨	٩٨,٦	١٢,٦	٨٣,٦
٢٩٧	١٣	٠,٥	٩٩,١	٤,٩	٨٨,٥
٣٢٣	١٢	٠,٥	٩٩,٦	٥,٩	٩٤,٤
٣٤٩	٥	٠,٢	٩٩,٨	٣,١	٩٧,٥
٣٧٦	٢	٠,١	٩٩,٨	١,٦	٩٩,١
٤٠٢	١	٠,٠	٩٩,٩	٠,٩	١٠٠
			١٠٠		

$D_{v.1} = 50\ \mu$ $D_{N.1} = ----$

$D_{v.5} = 195\ \mu$ $D_{N.5} = 75\ \mu$

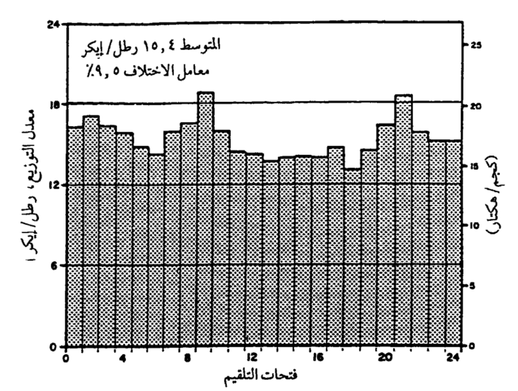
$D_{v.9} = 300\ \mu$ $D_{N.9} = 188\ \mu$



٧,٣ تقييم الأداء

٧,٣,١ توزيع الكيمياويات الجافة

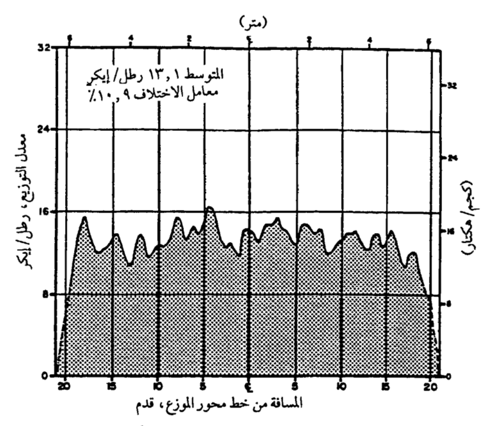
يقاس أداء معدات توزيع الكيمياويات الجافة بانتظام التغطية ودقة المعايرة. ويعتمد تماثل التغطية على تماثل التلقيم والنثر أو التوزيع. تؤثر متغيرات الحقل على التماثل وعلى دقة المعايرة. حيث ينتج من الحقول غير الممهدة أو المائلة أداء غير مقبول. تؤثر أيضًا المادة المطلوب توزيعها على الأداء. حيث ينتج عن المواد حرة السريان توزيع أكثر انتظامًا على العكس من المواد التي تميل إلى تشكيل كتل ولايتم تلقيمها جيداً. يوضح الشكل رقم (٧,٣٩) تماثلاً نمطيًا للمعايرة (PAMI, 1985) لعدد ٢٤ مخرجًا على طول العرض الكلي لموزع. وكان متوسط معدل التوصيل ١٧,٣ كجم/ هـ عند سرعة ٨ كم/ س وكان معامل الاختلاف (C.V.) ٥ ,٩٪. يعتبر معامل الاختلاف مقياسًا للتشتت في مجموعة بيانات ويحسب بقسمة الانحراف المعياري على متوسط العينة. وكلما كان معامل الانحراف عاليًا، كلما كان التشتت أكبر في البيانات. يمكن التعبير عن معامل الانتشار في صورة معدل التوزيع عند موقع معين على طول العرض الكلي للموزع كما هو موضح في الشكل رقم (٧,٤٠). تتعلق



شكل ٧,٣٩. التغيرات النمطية في معدلات التوصيل من مخارج مستقلة في وجود مجموعة أصلية لقاع الخزان عند توزيع مادة (Avadex BW) بمعدل ١٧,٣ كجم/ هـ (١٥,٤ رطل/ إيكر) وسرعة ٨ كم/ س (٥ ميل/ س). (عن: Prairi Agricultural Machinery Institute, Canada)

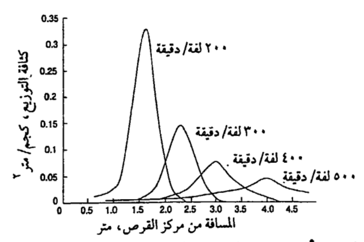
البيانات الموضحة بالشكل بمعدل توزيع يعادل ١٤,٧ كجم/ هـ عند سرعة ٨ كم/ س. وقد وجد أن معامل الاختلاف ١٠,٩٪. بالإضافة إلى التماثل الجانبي للتوزيع، فإن التماثل الطولي يؤثر أيضًا على أداء الموزع. ويكون التماثل الطولي عادة في شكل تغيرات دورية والتي تنتج عن شكل تصميم آليات التلقيم. يبين الشكل رقم (٧,٤١) نماذج مختلفة للتوزيع الجانبي لآلة نثر طاردة مركزية. يعتمد الانتظام الإجمالي (النهائي) على النموذج الفردي ومقدار التداخل في كل شريط.

يتأثر أداء موزعات السماد من نوع النثر الدوراني بسرعة القرص الدوار ومقاس حبيبات السماد ضمن مجموعة أخرى من العوامل. وقد أجرى (Crowther, 1958) دراسة لتلك المؤثرات. حيث استخدم سمادًا تجاريًا في هذه الدراسة وكان



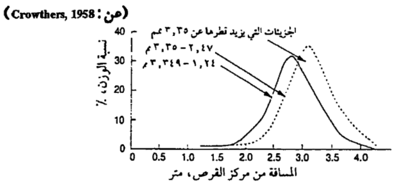
شكل ٧,٤٠. نموذج توزيع نمطي باستخدام الوحدات الأصلية لقاع الخزان عند توزيع ١٤,٧كجم/هـ (١٣,١ رطل/إيكر) لمادة (Avadex BW) عند سرعة ٨ كم/س (٥ ميل/س) باستخدام مسافة بين الموجهات ٦١٠ م (٢٤ بوصة) وارتفاع تصرف الموجه ٦١٠ م (٢٤ بوصة). (عن: Prairi Agricultural Machinery Institute, Canada)

توزيع المقاس بحيث تمر ٩٢٪ من الحبيبات من فتحات غربال مقاس ٣٣٥٣ ميكرون، ٣٦٪ من فتحات غربال مقاس ٢٤١١ ميكرونًا و٤٪ من فتحة غربال مقاس ١١٩٠ ميكرونًا. يوضح الشكل رقم (٧,٤١) أنه كلما زادت سرعة القرص كلما قذفت الحبيبات أبعد وذلك كما كان متوقعًا. إلا أن كثافة توزيع المادة المنثورة على عرض الموزع تأثرت أيضًا. يوضح الشكل رقم (٧,٤٢) فصل الحبيبات عند سرعة ٤٠٠ لفة/ د. كان هناك بعض الفصل في الحبيبات اعتماداً على مقاسها، ومع ذلك، فمن غير المتوقع أن تؤثر على نموذج التوزيع النهائي.



شكل ٧,٤١. تأثير سرعة القرص على مسافة قذف الحبيبات من الموزع.

(عن: Crowthers, 1958)



شكل٧,٤٢. انفصال الحبيبات نتيجة مقاسها بواسطة القرص الدوار.

(عن: Crowthers, 1958)

٢,٣,٧ المعايرة

تاثرات الجاذبية. يشار إلى المعايرة على أنها مقدار الكيمياويات الموزعة لوحدة المساحة ويعبر عنها عادة في صورة كيلوجرامات لكل هكتار (كجم/ هـ). ويبين الملصق الموجود على المبيدات معدل التوزيع الموصى به. وفي بعض الأحيان يوصف معدل التوزيع في صورة كمية المحتويات الفعالة المراد توزيعها لوحدة المساحة، حيث تتوافر المبيدات في توليفات مختلفة. يمكن في هذه الحالة حساب معدل التوزيع للمنتج باستخدام المعادلة التالية:

$$AR = \frac{A\,R_{a.i.}}{F\,R_{a.i.}} \qquad (٧,١٤)$$

حيث :

AR = معدل توزيع المادة، كجم/ هـ

$AR_{a.i.}$ = معدل توزيع المادة الفعالة في التركيبة

$FR_{a.i.}$ = جزء من المادة الفعالة في التركيبة .

ويكون معدل التوزيع مستقلاً عن السرعة الأرضية للموزع بينما يكون معدل التلقيم متناسبًا مع معدل التحرك . يمكن الوصول إلى ذلك عن طريق إدارة آلية التلقيم بواسطة عجلة الأرض . تتطلّب الأسمدة والمبيدات المختلفة معدلات توزيع مختلفة . ويوفر صانعو الموزعات آلية لضبط الفتحة وسائل لتغيير معدل التوزيع . كما يجب أن تتم معايرة الموزع بدقة إلى معدل التوزيع المطلوب .

يمكن معايرة الموزع في المعمل بالرغم من أن المعايرة في الحقل هي التي يوصى بها حيث تؤثر خشونة الأرض على المعدل . للمعايرة في الحقل، املأ الخزان بالمادة واضبط المقياس إلى الوضع الموصى به . اسحب الموزع للأمام حتى يسري تيار منتظم من الأنابيب . حدد مسافة ٢٠٠ متر على الأقل . فك الأنابيب واشبك مكانها أكياسًا لتجميع المادة . بعد التحرك للمسافة المحددة على السرعة المرغوبة، اجمع المادة واوزنها . يمكن استخدام العلاقات التالية لإيجاد معدل التوزيع :

$$A = \frac{d\,w}{10000} \qquad (٧,١٥)$$

$$AR = \frac{m}{A} \qquad (٧,١٦)$$

حيث :

A = المساحة المعالجة، هـ

d = مسافة التحرك، م

w = عرض الشريط، م

m = كمية المادة المتجمعة، كجم .

في المعايرة المعملية، يرفع الموزع عن الأرض وتدار عجلة الأرض عدة مرات لمحاكاة التحرك الحقلي. تجمع الحبيبات ثم توزن. يتم إيجاد مسافة التحرك في العلاقة السابقة من المعادلة التالية:

$$d = \pi D_w N \qquad (٧, ١٧)$$

حيث:

D_w = قطر عجلة الأرض، م

N = عدد اللفات.

إذا لم يكن معدل التوزيع صحيحًا فيجب ضبط الموزع ثم يجب إعادة المعايرة مرة أخرى.

للتوزيع الشريطي يكون معدل التوزيع في الشريط هو نفس معدل التوزيع الموصى به في الحقل. يتم توزيع كمية إجمالية من المادة أقل نظرًا لأن المساحة المعالجة تكون أقل من المساحة الكلية. تستخدم العلاقات التالية لحساب المساحة المعالجة في التوزيع الشريطي:

$$A_b = \frac{d_b\ A}{d_r} \qquad (٧, ١٨)$$

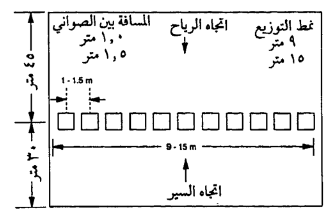
حيث:

A_b = مساحة الشريط المعالج، هكتار

d_b = عرض الشريط، م

d_r = المسافة بين الصفوف، م.

النائرات الدورانية. الغرض من معايرة أي نائرة دورانية هو توزيع السماد بمعدل التوزيع المرغوب (كجم/ هـ) والحصول على تغطية منتظمة. يكون ضروريًا تحديد العرض الفعال ونموذج النثر لتأثيرهم على مقدار التداخل. وتوجد ثلاث نماذج نثر مقبولة: القمة المستوية (المسطحة)، الهرمي، والبيضاوي والتي ينتج عنها تغطية منتظمة إذا تم المحافظة على تداخل مناسب.



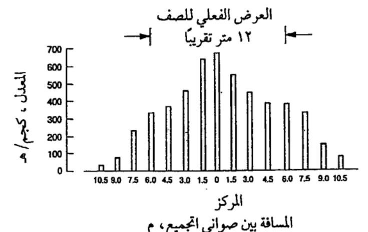
شكل٧,٤٣. منحنى يوضح المتطلبات الدنيا لمساحة اختبار نموذج نثر.

يتم شراء معظم الموزعات ومعها صندوق معايرة ومجموعة تعليمات لتحديد نموذج النثر وعرض الخط. ويجب اتباع تلك التعليمات بدقة. عمومًا، ترتب مساحة الاختبار كما هو موضح في الشكل رقم (٧,٤٣). توضع أوعية التجميع طبقًا للمسافات الموضحة في الجدول رقم (٧,٣). يوجه صف الأوعية بحيث تسير النائرة مسافة ١٠٠ قدم على الأقل قبل الوصول إلى الأوعية ثم يستمر في النثر لمسافة ١٥٠ قدمًا على الأقل بعد الأوعية. اختر معدل توزيع السماد المطلوب وضعه ثم قم بإجراء الاختبار.

جدول ٧,٣. المسافة بين الأوعية لتجميع عينات لتحديد نموذج النثر.

عرض الخط (م)	المسافة بين الأوعية ٩ أوعية	المسافة بين الأوعية (م) ١١ وعاء
٩,١٤٤	١,١٤٣	١,٠٦٦ على جانب من مركز الوعاء ٠,٩٩١ بين جميع الأوعية الأخرى
١٠,٦٦٨	١,٣٢١	١,٠٦٦
١٢,١٩٢	١,٥٢٤	١,٢١٩
١٣,٧١٦	١,٧٢٧	١,٣٧٢
١٥,٢٤٠	١,٩٠٥	١,٥٢٤

يُحسب معدل التوزيع لكل وعاء بناء على مساحة الأوعية ووزن المادة التي تم جمعها في كل وعاء. ثم ترسم هذه البيانات بطريقة مشابهة لتلك الموضحة في الشكل رقم (٧,٤٤). ويحسب عرض الخط الفعال من هذه البيانات وذلك بتعيين النقطة الموجودة على جانبي المركز حيث يكون معدل التوزيع مساويًا لنصف الموجود عند المركز. وتكون المسافة بين تلك النقاط هي العرض الفعال للخط. كما يمكن تصور نموذج النشر من البيانات المعطاة في الشكل رقم (٧,٤٤). فإذا كان هذا النموذج غير مقبول فيجب إجراء التعديلات والضبط الضروريين طبقًا لما جاء في تعليمات الصانع. وأخيراً، يمكن إيجاد معدل التوزيع في الحقل بملاحظة كمية المادة الموزعة والمساحة المغطاة.

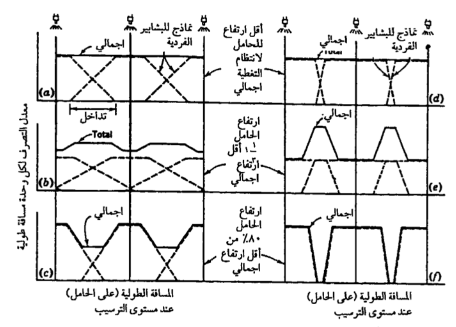


شكل٧,٤٤. مخطط يبين نموذج التوزيع الناتج من التجارب وعرض الخط الفعال.

٧,٣,٣ توزيع الكيمياويات السائلة

يتم إيجاد أداء الرشاشة بانتظام التغطية ونماذج الرش، ومقاس القطيرة وتوزيعها، والوضع النهائي والانجراف. يتأثر انتظام التغطية بنوع المرذذ، والمسافة بين المرذذات، وارتفاع حامل المرذذات، وحالة المرذذات، وضغط التشغيل، وظروف الحقل.

تماثل التغطية. يتحدد انتظام التغطية بواسطة: (أ) نوع المرذذ، (ب) المسافة بين المرذذات، (جـ) ارتفاع الحامل، و(د) زاوية رش المرذذ. وكما هوموضح

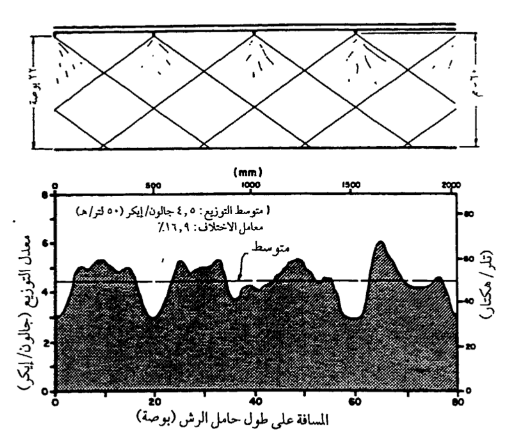


شكل٧,٤٥. تأثير نموذج توزيع المرذذ وارتفاع حامل الرش على تماثل التغطية. المنحنيات ذات ضغط متقطع توضح نماذج التوزيع (عند مستوى الوضع) لمرذذات مفردة، وتوضح الخطوط المستمرة لكل حالة نموذج مقدار التصرف المشترك لجميع المرذذات (أي، لمجموع المنحنيات ذات الخط المتقطع).

(عن: **Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978**)

في الشكل رقم (٧,٤٥)، تنتج معظم التغطية المتماثلة من مرذذ مروحي مسطح بزاوية عريضة بينما يكون ارتفاع الحامل على أقل ارتفاع موصى به. وينتج عن رفع أو خفض الحامل زيادة أو نقصان التداخل. كما يوضح الشكل أيضًا تأثير زاوية الرش على تماثل نموذج الرش. للمرذذات ذات زوايا الرش المتقاربة، يكون نموذج الرش أكثر حساسية لتغير ارتفاع الحامل. ومن التوصيات العامة لمرذذات الرش المروحية المسطحة أنه يجب وجود ٦٠٪ تداخل عن طريق ضبط ارتفاع الحامل. يعرف التداخل على أنه العرض المغطى من مرذذين متجاورين مقسومًا على عرض النموذج الناشىء من مرذذ فردي ويعبر عنه كنسبة مئوية. كما يمكن حساب ارتفاع الحامل لمقدار معلوم من التداخل ومن المسافة بين المرذذات. إلا أن المصنعين يوصون باستخدام أقل ارتفاع للحامل بسبب أن عرض الرش الفعلي يكون أقل نوعًا ما من

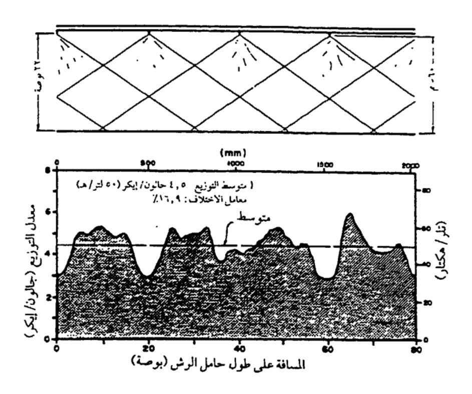
القيمة النظرية المحسوبة من زاوية الرش وارتفاع الحامل. مقدار التداخل الموصى به للمرذذات الفيضية ولبعض مرذذات الرش المخروطية المجوفة ذات زاوية عريضة يكون ١٠٠٪.



شكل ٧,٤٦. نموذج توزيع نمطي بطول الحامل باستخدام مرذذات رقم ٣ عند سرعة ٨,٣ كم/س (٥,١ ميل/س) وارتفاع المرذذ ٥٦٠ م (٢٢ بوصة). (عن: **Prairi Agricultural Machinery Institute, Canada**)

بناءً على الاختبارات التي أجريت في معهد البراري لأبحاث الآلات الزراعية (PAMI)، هامبولت، ساسكتشوان، كندا، يتأثر الانتظام بضغط المرذذ. ويوضح الشكل رقم (٧,٤٦) نماذج توزيع ضعيفة بطول الحامل عند ضغط مرذذ منخفض والمرتبطة بسرعة أمامية ٨,٣ كم/س. وأصبح التوزيع أكثر انتظامًا عند زيادة الضغط للمحافظة على نفس معدل التوزيع عند سرعة أمامية ١٤,٦ كم/س كما هو موضح

في الشكل رقم (٧,٤٧). ينتج عن استخدام مرذذات متآكلة ومهشمة توزيع غير مقبولاً للرش. كما يسبب عدم استواء الأرض تغير ارتفاع الحامل وبالتالي يؤدي إلى توزيع غير منتظم للرش.



شكل ٧,٤٧. نموذج توزيع نمطي بطول الحامل باستخدام مرذذات رقم ٣ عند سرعة ١٦,٤ كم/ س (١٠,٩ ميل/ س) وارتفاع المرذذ ٥٦٠ م (٢٢ بوصة). (عن: Prairi Agricultural Machinery Institute, Canada)

مقاس القطيرة. يعبر عن مقاس القطيرة عادة ب $(D_{V.5})$ (قطر وسيط الحجم)، ويتأثر بنوع المرذذ، وزاوية الرش، ومعدل السريان، وضغط التشغيل. عمومًا، ينتج المرذذ المخروطي الأجوف قطيرات دقيقة جداً، ويكون الرش المسطح في المرتبة الثانية بينما تنتج مرذذات المخروط الكامل رشًا ذي مقاس أكبر. تصبح القطيرات أكثر دقة كلما زاد عرض الرش بسبب نثر غشاء السائل على زاوية أكبر مما ينتج رقائق أكثر عند الحواف. ولأحد أنواع المرذذات المعطاة فإن المرذذ الأصغر سعة

ينتج قطيرات أقل مقاسًا والعكس صحيح. يوضح الجدول رقم (٤,٧) تأثيرات زاوية الرش ومعدل السريان على مقاس القطيرة (Spraying System Co., 1991). يقل مقاس القطيرة بزيادة ضغط التشغيل. وعلى ذلك، يكون مهمًا أن نعلم أنه أثناء زيادة معدل التوزيع عن طريق زيادة الضغط، فسوف يقل مقاس القطيرة وقد يتسبب ذلك في انجراف أعلى. يكون للزوجة السائل وكثافته تأثير قليل على مقاس القطيرة في المدى الشائع للاستخدامات الزراعية. كما أن زيادة الشد السطحي تزيد من قطر وسيط الحجم.

جدول ٤,٧. تأثير زاوية الرش ومعدل السريان على مقاس القطيرة.

زاوية الرش (°)	نوع البشبوري (١,٨٩ لتر/د عند ٢٧٥ كيلوباسكال)	قطر وسيط الحجم (ميكرون) (عند ضغط مرذذ، كيلوبسكال)		
		١٠٣	٢٧٥	٥٥٠
٤٠	٤٠٠٥ رش مسطح	٩٠٠	٨١٠	٧٨٠
٦٥	٦٥٠٥ رش مسطح	٦٠٠	٥٥٠	٥٣٠
٨٠	٨٠٠٥ رش مسطح	٥٣٠	٤٧٠	٤٥٠
١١٠	١١٠٠٥ رش مسطح	٤١٠	٣٨٠	٣٦٠

نوع المرذذ (٢٧٥ كيلوبسكال)	قطر وسيط الحجم (ميكرون) (عند معدل سريان مرذذ، لتر/د)		
	٠,٧٥	١,٨٩	٣
نفاث T قياسي °٨٠ طرف رش مسطح	٣٩٠	٤٧٠	٥٦٠
نفاث T قياسي °٨٠ XR طرف رش مسطح	٣٦٠	٤٦٠	٥٦٠
نفاث فيضي - TK طرف رش مسطح	٣٧٠	٤٥٠	٥٤٠
نفاث كامل - FL طرف مخروطي كامل	٠٠٠	٦٨٠	٧٧٠
نفاث مخروطي - TX طرف مخروطي أجوف	٢٢٠	٣٦٠	٠٠٠

يعطي مصنعو مرذذات الرش في المعتاد قطراً وسيط الحجم لقطيرة المرذذ عند الضغط المعطى أثناء رش الماء. ويمكن تقدير قطر القطيرة لضغوط مختلفة من المعادلة التالية :

$$\frac{D_{v\,m1}}{D_{v\,m2}} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1/3} \quad (٧,١٩)$$

حيث :

$D_{v\,m1}$ = أقطار وسيطة الحجم عند ضغط (p_1)

$D_{v\,m2}$ = أقطار وسيطة الحجم عند ضغط (p_2) .

ولمرذذات مماثلة وعند ضغط ثابت يمكن تقدير تأثير اختلاف مقاس الفتحة من بيانات الصانع باستخدام المعادلة التالية :

$$\frac{D_{v\,m1}}{D_{v\,m2}} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^{2/3} \quad (٧,٢٠)$$

حيث :

$D_{v\,m1}$ = أقطار وسيطة الحجم عند قطر فتحة (d_1)

$D_{v\,m2}$ = أقطار وسيطة الحجم عند قطر فتحة (d_2) .

تضاف في المعتاد مواد مانعة للتوتر السطحي بغرض رفع قيمة الشد السطحي لزيادة مقاس القطيرة وتقليل الانجراف. ويمكن تقدير تأثير التغير في الشد السطحي من المعادلة التالية :

$$\frac{D_{v\,m,\,chemical}}{D_{v\,m,\,water}} = \left(\frac{\sigma_{chemical}}{73}\right)^{1/2} \quad (٧,٢١)$$

حيث :

$\sigma_{chemical}$ = الشد السطحي للمادة الكيمياوية ، م. نيوتن/ م (داين/ سم) .

جدول ٧,٥. مقاس قطيرة الرش وتأثيرها على الانجراف.

قطر القطرة (ميكرون)	معدل تساقط مستقر (م/ث)	زمن سقوط لمسافة ٣,٠٤ م في هواء ساكن (ث)	مسافة الانجراف لمسافة سقوط ٣,٠٤ م خلال رياح سرعتها ٤,٨٢ كم/س (م)	عمر القطيرة (ث) – ماء متبخر*	مسافة السقوط خلال عمر القطيرة (م) – ماء متبخر*
٥	٠,٠٠٠٧٥	٣٩٦٠	٤٨١٥	٠,٠٤	٠,٠٢٥›
١٠	٠,٠٠٣	١٠٢٠	١٣٧٢	٠,٢	٠,٠٢٥›
٢٠	٠,٠١٢	٢٣٠	٣٣٨	٠,٧	٠,٠٢٥›
٥٠	٠,٠٧٦	٤٠	٥٤,٢٥	٤	٠,٠٧٦
١٠٠	٠,١٢٢	١١	١٤,٦٣	١٦	٢,٤٤
١٥٠	٠,٤٥٧	٨,٥	٧,٦٢	٣٦	١٢,٢
٢٠٠	٠,٩٢٧٤	٥,٤	٤,٥٧	٦٥	٣٨,٤
٥٠٠	١,١٥٨	١,٦	٢,١٣	٤٠٠	٣٨٠‹
١٠٠٠	٢,١٣٣	١,١	١,٥٢	١٦٢٠	٣٨٠«

* درجة حرارة الهواء ٣٠ °م، الرطوبة النسبية: ٥٠٪.

الانجراف والتغطية. القطيرات التي لاتسقط على الهدف المحدد تعتبر انجرافًا. يتضمن انجراف الرش مخاطر معنوية للبيئة لأن معظم المبيدات تعتبر عالية السمية. تميل القطيرات الأصغر إلى الانجراف أكثر من القطيرات الأكبر. يوضح الجدول رقم (٧,٥) الزمن المطلوب لقطيرات مختلفة المقاس ولاتتبخر حتى تستقر من ارتفاع ١٠ أقدام. من الجدول، يمكن ملاحظة أنه بانخفاض مقاس القطيرات يزداد الزمن اللازم للاستقرار في سلوك لوغاريتمي. القطيرات التي تأخذ زمنًا أطول للاستقرار تعتبر أكثر عرضة للانجراف. ينتج كل مرذذ مقاسات مختلفة من القطيرات. فإذا كان التوزيع عريضًا جداً فسوف يكون هناك عدد كبير من القطيرات

أقل من المقاس وبالتالي تكون معرضة للانجراف. وعلى ذلك، فمن المرغوب فيه توليد توزيع متقارب من مقاس القطيرات وقريبًا من المقاس المطلوب. عمومًا، يجب الوصول إلى توازن بين القطيرات الكبيرة والصغيرة. حيث تعطي القطيرات الكبيرة اختراقًا أكبر للمجموع الخضري للنبات بينما تعطي القطيرات الأصغر تغطية أكبر. يوضح الجدول رقم (٧,٢) تأثير مقاس القطيرة على التغطية. فكلما صغرت القطيرات كلما زادت التغطية لنفس معدل التوزيع. بالنسبة للمبيدات الهيكلية، تكون القطيرات الأكبر مقبولة ولكن للمبيدات التلامسية للحشائش أو الفطريات فإن التغطية الكاملة تكون ممكنة بالقطيرات الأصغر مما يجعلها مرغوبة أكثر من القطيرات الأكبر. وعلى الرغم من أن القطيرات الصغيرة تعطي تغطية أفضل إلا أنها تتبخر بمعدل أسرع مما يزيد من الانجراف. يوضح الجدول رقم (٧,٥) معدل التبخر لمقاسات مختلفة من القطيرات.

مازال البحث مستمراً لتحسين كفاءة الرشاشة وتقليل الانجراف. ويعتبر الشحن الإليكتروستاتيي والرشاشات ذات الستارة الهوائية من ضمن بعض الأمثلة المبذولة في نفس الاتجاه. حيث تشحن القطيرات إليكتروستاتيًا لتحسين قابليتها للادمصاص على النباتات ومن ثم زيادة كفاءة التغطية وتقليل الانجراف. في رشاشات الستارة الهوائية، تدخل القطيرات في تيار هوائي يتحرك بسرعة لزيادة الاختراق خلال المجموع الخضري للنبات.

٧,٣,٤ معايرة الرشاشة

يُشار إلى معايرة الرشاشة على أنه ضبط توزيع الكيمياويات في صورة (لتر/ هـ). ويعتمد معدل التوزيع على السرعة الأمامية للرشاشة، العرض الفعال لها، ومعدل السريان من المرذذ. يمكن استخدام العلاقة التالية لإيجاد معدل سريان المرذذ المطلوب للتوزيع بالنثر:

$$Q_n = \frac{AR\ S\ d_n}{600} \qquad (٧,٢٢)$$

حيث:

Q_n = معدل سريان المرذذ، لتر/ د

AR = معدل التوزيع، لتر/ هـ

S = سرعة الرشاشة، كم/ س

d_n = المسافة بين المرذذات، م.

بمجرد تحديد معدل السريان المرغوب للمرذذ، يمكن اختيار مرذذ مناسب من كتيب الصانع. تكون الخطوة التالية هي ضبط ضغط النظام للحصول على معدل السريان المطلوب. يمكن استخدام العلاقة التالية لإيجاد الضغط المرغوب (p):

$$p = \left(\frac{Q_n}{Q_r}\right)^2 p_r \qquad (٧,٢٣)$$

حيث:

Q_r = المعدل المقرر لسريان المرذذ، لتر/ د

p_r = الضغط المقرر للمرذذ، كيلوبسكال.

للتوزيع الشريطي، استخدم عرض شريط الرش أو عرض الغشاء بدلاً من المسافات الموجودة في المعادلة رقم (٧,٢٢). للمرذذات المتعددة في الرش المباشر، فإن القيمة المستخدمة للمسافات تكون عرض الصف مقسومًا على عدد المرذذات في الصف. من المهم جداً المحافظة على معايرة الرشاشة بصورة جيدة وذلك لتعظيم فعالية الكيمياويات ولتقليل المخاطر البيئية. تتوافر حاليًا أجهزة تحكم ومراقبة في الرشاشات والتي تراقب سرعة الجرار والرشاشة ومعدل السريان، وتضبط باستمرار السريان إلى المعدل المطلوب توزيعه.

مثال رقم (٧,٤)

احسب معدل السريان لمرذذ مخروطي أجوف لمعدل توزيع ٢٠٠ لتر/ هـ. سرعة الرشاشة ١٠ كم/ س والمسافة بين المرذذات ٥٠ سم. قطر فتحة المرذذ المتاح

٠,٧٨٧ مم والمعدل المقدر له ٠,٤٧٣ لتر/ د عند ضغط ٢٧٥ كيلوبسكال. ماهو الضغط المطلوب لإنتاج سريان المرذذ المرغوب؟ وإذا كان المرذذ ينتج قطراً وسيط الحجم ٢٠٠ ميكرون عند ضغط ١٠٠٠ كيلوبسكال، احسب مقاس القطيرة عند معدل السريان المرغوب. وإذا كان مطلوب قطراً وسيطًا الحجم يعادل ٣٥٠ ميكرونًا، فاحسب الشد السطحي الذي يجب الوصول إليه بإضافة مواد مساعدة.

الحل. يُحسب معدل سريان المرذذ كمايلي:

$$Q_n = \frac{200 * 7.5 * 0.5}{600} = 1.24 \text{ L/min}$$

نحسب الآن الضغط المرغوب للمرذذ المعطى:

$$p = \left(\frac{1.24}{0.473}\right)^2 * 275 = 1889 \text{ kPa}$$

نحسب بعد ذلك قطراً وسيط الحجم للضغط الموضح كمايلي:

$$d_{vm1} = \left(\frac{1000}{1889}\right)^{1/3} * 200 = 162\ \mu$$

يجب زيادة الشد السطحي للحصول على المقاس المطلوب للقطيرة وهو ٣٥٠ ميكرونًا. ويحسب الشد السطحي الضروري كمايلي:

$$\sigma_{chemical} = \left(\frac{350}{200}\right)^2 * 73 = 223.5 \text{ dynes/cm}$$

في هذه الحالة، يجب استشارة مصنعو المواد المساعدة لإيجاد المركب المناسب ونسبته للحصول على الشد السطحي المرغوب.

تمارين على الفصل السابع

٧,١ يراد من وحدة تغطية جانبية أن تضع شريطين لكل صف من محصول المسافة بين صفوفه ١ م. وكان مرغوبًا وضع سماد كثافته الظاهرية النسبية ٠,٨٥ بمعدل ٥٦٠ كجم/ هـ. إذا تمت معايرة الموزع بإدارة الآلة للأمام مسافة ٣٠ م، ماهي كتلة المادة المتوقع تجميعها من كل أنبوب توصيل عند ضبط الموزع بدقة.

٧,٢ موزع للسماد السائل له تغذية بالجاذبية خلال فتحات ثابتة. إذا كان عمق الخزان ٤٦٠ م ويتم تنفيسه من القمة. يرتفع قاع الخزان عن الأرض ٦١٠ م ونهايات أنابيب التوصيل على عمق ٧٥ م أسفل مستوى سطح الأرض. وكانت رؤوس التلقيم (بما فيها الفتحات) أسفل الخزان مباشرة ، وكانت أنابيب التوصيل صغيرة بقدر كاف بحيث تبقى كل واحدة مملوءة تمامًا بالسائل بين الفتحة ونهاية المخرج (مما ينتج ضغطًا سالبًا على الفتحة). (أ) احسب النسبة بين معدلات السريان عندما يكون الخزان ممتلئًا وعندما يتبقى فقط ٢٥ م من عمق الخزان. (ب) اذكر ثلاثة احتمالات للتغير في النظام والتي ستقلل التغيرات في المعدلات.

٧,٣ خزان رشاشة ذي قاع مستدير حجمه ٠,٩٥ م^3 وطوله ١,٥ م وعمقه ٠,٩ م. يتوفر بالخزان مقلب آلي ذو أربعة بدالات بطول ٢٨٠ م (القطر من الطرف) وعرضها ٢٠٠ م ومثبتة على عمود على ارتفاع ١٥٠ م فوق قاع الخزان. (أ) احسب أقل سرعة دوران للبدالات (لفة/ د) لتقليب مخلوط مكون من ١٠٪ زيت و٩٠٪ ماء. (ب) إذا كانت الكفاءة الآلية لمنظومة نقل القدرة تعادل ٩٠٪، فما هو مقدار القدرة المدخلة المطلوبة للتقليب؟

٧,٤ تحت ظروف التمرين رقم (٧,٣). (أ) ماهي معدلات إعادة التدوير المطلوبة للتقليب الهيدرولي عند ضغط ٤٠٠ كيلوبسكال وضغط ٢,٧٥ ميجابسكال؟ (ب) إذا كانت كفاءة المضخة ٥٠٪، فما هي قدرة المضخة المدخلة والمطلوبة للتقليب الهيدرولي عند كل ضغط. (جـ) جهز جدولاً لتلخيص ومقارنة نتائج التمرين رقم (٧,٣) ورقم (٧,٤). لاحظ انخفاض معدل إعادة التدوير وزيادة متطلبات القدرة عند زيادة ضغط التقليب الهيدرولي.

٧,٥ يوجد برشاشة حقلية حامل رش أفقي ذو ٢٠ مرذذًا، المسافة بين كل منها ٤٦

سم . ويفترض تصميمها لأقصى معدل توزيع يعادل ٧٥٠ لتر/ هـ عند ضغط ٥٢٠ كيلوبسكال وسرعة ٥ , ٦ كم/ س . (أ) احسب السعة المطلوبة للمضخة بوحدات لتر/ د، بافتراض أن ١٠٪ من السريان يتم تحويله عند الحالات القصوى السابقة . (ب) إذا تطلّب التقليب الآلي قدرة مدخلة تعادل ٣٧٥ واطًا وكفاءة المضخة ٥٠٪، فما هي قدرة المحرك المقدرة إذا افترض أنه يتم تحميل المحرك بما لايزيد على ٨٠٪ من القدرة المقدرة؟ (جـ) ماهو معدل التصرف لكل مرذذ (لتر/ د) يكون مطلوبًا تحت الظروف السابقة؟ (د) إذا كانت زاوية الرش للمرذذات هي ٧٠° ويكون نموذج الرش بحيث يكون مطلوبًا ٥٠٪ تداخل للتغطية المتماثلة (أي أن، نموذج الرش أعرض بمقدار ٥٠٪ من المسافة بين المرذذات)، على أي ارتفاع فوق قمة النباتات يجب تشغيل حامل الرش؟

٦ , ٧ زُودت رشاشة حقلية بعدة مرذذات لها توصيل مقدر٤٢ , ٠ لتر/ د من الماء عند ٢٧٥ ضغط كيلوبسكال. المسافة بين المرذذات على الحامل ٥١ سم. ويتم خلط كل كيلوجرام من المادة الفعالة (2,4-D) بمقدار ٨٠ لترًا من الماء وكان معدل التوزيع المرغوب٩٥ , ٠ كجم كيمياويات/ هـ. ماهي السرعة الأمامية الصحيحة إذا كان ضغط المرذذ ٢٠٠ كيلوبسكال؟

٧ , ٧ مرذذ رش مخروطي أجوف يخرج معظم القطيرات بين دائرتين ذات مركز واحد (متحدة المركز). افترض أن قطر الدائرة الداخلية يعادل ٧٠٪ من قطر الدائرة الخارجية وأن توزيع القطيرات متماثل بين الدائرتين. ارسم نموذج التوزيع النظري المتوقع حدوثه عندما يتحرك المرذذ للأمام في خط مستعرض. يقبل الحل البياني.

٨ , ٧ عند مستوى ترسيب مقداره ٤١٠ مم أسفل طرف مرذذ مروحي مخصوص، كان معدل التصرف على طول ٢٠ سم من مركز غشاء تم رشها ثابتًا عند ١٥ مللي لتر/ د/ سم^{٢} من العرض ثم يتناقص تدريجيًا إلى الصفر بعد مسافة جانبية تعادل ٣٦ سم من خط مركز المرذذ. (أ) ارسم منحنى التوزيع بمقياس رسم. (ب) على نفس المنحنى، ارسم منحنى يمثل هذا المرذذ على مستوى ترسيب ٥٨٥ سم أسفل طرف المرذذ. (جـ) احسب زاوية رش المرذذ. (د) إذا وضعت المرذذات التي لها هذا النموذج على مسافات ٥٠ سم على الحامل، ماهو ارتفاع الطرف فوق مستوى

الترسيب الذي يعطي تغطية منتظمة.

٧,٩ يفترض تشغيل رشاشة تيار هوائي بسرعة ٤ كم/س وكان معدل التوزيع المرغوب هو ١٩ لتر/ شجرة. المسافة بين الأشجار ٩×٩ م ويقوم كل مرذذ بتوصيل ٤ لتر/ د عند ضغط تشغيل ٤١٥ كيلوبسكال. (أ) إذاتم رش نصف صف من كل جانب من الآلة، فما هو عدد المرذذات المطلوبة؟ (ب) ماهو عدد الهكتارات التي يمكن رشها باستخدام خزان سعته ٢ م^{3} ممتلىء بالمحلول؟

٧,١٠ حدد أحد مصنعي المرذذات قيمة قطر وسيط الحجم بمقدار ١٣٥ ميكرومتر يتم الحصول عليه عند ضغط ٣٤٥ كيلوبسكال عند استخدام الماء. إذا استخدم نفس المرذذ لمادة كيمياوية لها شد سطحي ٥٠ داين/ سم. اوجد قطر وسيط الحجم لمقاس القطيرة إذا تم تشغيل المرذذ عند ضغط ٥٢٥ كيلوبسكال.

٧,١١ تم تقدير الأقطار بالميكرون لعدد ١٠٠ قطيرة ناتجة من مرذاذ كما هو موضح بالجدول. احسب (أ) المتوسط الحسابي، السطح، الحجم، ومتوسط أقطار سوتر، (ب) اكمل منحنى توزيع الاحتمالات واوجد العدد، السطح، وقطر وسيط الحجم.

٥٠٠	٢١٠	٣٣٠	٣٧٠	٣٧٠	١٥٠	١٦٠	٤٩٠	٢٥٠	٧٠
٢٩٠	٣٥٠	٧٦٠	٥٨٠	١١٠	٢٩٠	٣٤٠	١٥٠	٢١٠	٣٤٠
١٩٠	٧٦٠	٣٨٠	١٣٠	٤٧٠	٦٥٠	٧٣٠	١١٣٠	٢٧٠	٢٦٠
٦٦٠	٩٧٠	١٩٠	٣٤٠	٣٤٠	١٥٠	٣١٠	٦٥٠	٨٧٠	٢١٠
٢٧٠	١٦٠	٢٨٠	٤٥٠	١١٤٠	٧٥٠	٦٤٠	٦٤٠	٣٩٠	٣٤٠
٣٦٠	٢٨٠	٧٠٠	٤٤٠	١٩٠	٥٢٠	٢٠٠	١٥٠	٦٢٠	٢٥٠
٣٩٠	٨٠٠	٤١٠	٢١٠	١٧٠	١٠١٠	١٨٠	٤٧٠	٤٧٠	١٤٠
١٧٠	٣١٠	٥٥٠	٤٦٠	٥٧٠	١٠٧٠	٦٣٠	٢٣٠	٤٦٠	٣٤٠
٢٥٠	٣٥٠	٥٢٠	٣٣٠	٣٧٠	٧٨٠	١٠٠	٤٩٠	١٥٠	١٥٠
١٩٠	١٦٠	٣٧٠	٢٧٠	٣٧٠	١٧٠	١٥٠	٣٣٠	٥٤٠	٤٧٠

الفصل الثامن

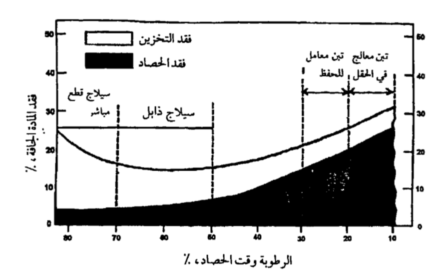
حصاد العلف والدريس (التبن)
Hay and Forage Harvesting

● الطرق والمعدات ● العمليات الوظيفية
● تقييم الأداء ● تمارين على الفصل الثامن

مقدمة

استخدمت الحيوانات الأليفة كمصدر للقدرة أو للغذاء على مدار التاريخ الزراعي المسجل. وعن طريق الرعي، استطاعت الحيوانات الاستفادة من الحشائش، والبقوليات، وباقي محاصيل الأعلاف التي لايستطيع الإنسان استهلاكها بصورة مباشرة. وتسمح الأحوال الجوية في بعض مناطق العالم بالرعي على مدار السنة. ولأن الرعي قد يكون اختياريًا ويحتاج لإدارة مكثفة، فيتم حصاد الأعلاف عمومًا بالآلات ثم تخزن للاستخدام في أوقات أخرى بغرض التغذية. وأهم طريقتين شائعتين للمحافظة على محاصيل الأعلاف هما إما حصادها مباشرة أو تركها لتذبل في الحقل. وفي حالة عمل السيلاج، يتم قطع العلف عند نسبة رطوبة تتراوح من ٧٠ إلى ٨٠٪، ثم يسمح بتجفيفه في الحقل حتى نسبة رطوبة تتراوح من ٥٠ إلى ٦٥٪، ثم يتم تقطيعه إلى أطوال قصيرة حتى يمكن تعبئته في صورة مناسبة، ثم وضعه في حجرات معزولة عن الهواء للمحافظة عليه من التخمر. أما بالنسبة لحصاد التبن (علف جاف)، فيجب قطع العلف والسماح له بالجفاف حتى نسبة رطوبة تتراوح من ١٥ إلى ٢٣٪ قبل تخزينه. ويكون العلف ذي كثافة منخفضة ولا ينساب بسهولة، ويتميز السيلاج بنفس المحددات بالإضافة إلى إمكانية تلفه إذا لم يتم تقديمه لتغذية الحيوانات بعد إخراجه مباشرة من التخزين. ولذلك، يُقدم كل من التبن والعلف للتغذية بعد تجهيزهما بفترة قصيرة. كما يوجد أيضًا بعض مزارع العلف الجاف التجارية التي تُنتج علفًا عالي الجودة، ثم يُعمل منه بالات تنقل إلى أماكن

بعيدة للاستهلاك.

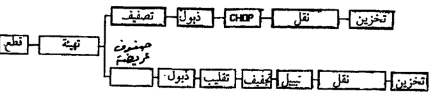


شكل ١,٨. تأثير الرطوبة على فواقد المادة الجافة من العلف أثناء الحصاد والتخزين.

وتعد الأعلاف ذات طبيعة خاصة بسبب حصادها عند ذروة محتواها الرطوبي. وبسبب الكميات الكبيرة من الماء والتي يجب إزالتها، وانخفاض القيمة النقدية للمحصول، فلاتوجد عمومًا جدوى من تجفيف العلف بوسائل صناعية. وتعتمد الفواقد وخواص التخزين اعتمادًا كبيرًا على نسبة الرطوبة في المحصول، الشكل رقم (١,٨).

١,٨ الطرق والمعدات

يوضح الشكل رقم (٢,٨) رسمًا تخطيطيًا للطريقتين الشائعتين في حصاد العلف. وللحصاد كسيلاج، يحصد المحصول القائم أو الذابل، ثم يعالج بالحقل وأخيراً يقطع إلى أطوال قصيرة بآلة حصاد الأعلاف، الشكل رقم (٣,٨). وتنقل الآلة العلف القصير إلى مقطورة أو شاحنة لنقله إلى الصوامع. وهناك يُقلب العلف مباشرة إلى صومعة أرضية أو صومعة برجية، ثم تستخدم نافخة علف لنقل العلف المقطع إلى الصومعة، الشكل رقم (٤,٨). ويُسمح لمعظم أعلاف النجيليات

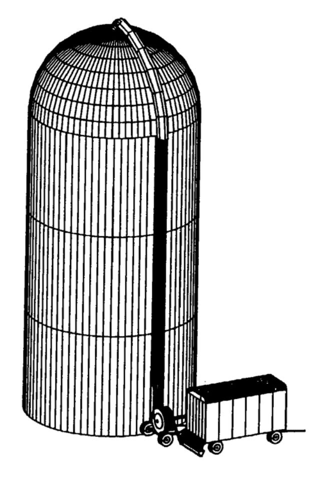


شكل ٨,٢. رسم تخطيطي لطريقتين شائعتين لحصاد العلف.

والبقوليات بالجفاف الجزئي قبل تقطيعها، حيث ينتج من السيلاج المخزن برطوبة مرتفعة روائح كريهة ويضعف من عملية التخمر، بينما يتعرض العلف شديد الجفاف للتلف ويصعب تكويمه. وعلى ذلك، بمجرد وصول المحصول إلى المحتوى الرطوبي المناسب، الشكل رقم (٨,١)، يجب تجهيز آلات حصاد الأعلاف وأدواتها التكميلية للحصاد السريع للأعلاف. وبالإمكان عمل سيلاج من الذرة المحصودة مباشرة بدون تجفيف نظراً لأن عملية التخمر تمنع تلف الذرة.



شكل ٨,٣. حاصدة علف. (عن: .Deere and Co)

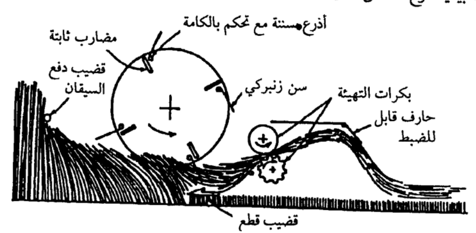


شكل ٨,٤. نقل العلف إلى داخل الصومعة.

تجفف الأعلاف في الحقل إما في صفوف عريضة أو في صفوف ضيقة. يقترب عرض الخطوط العريضة من عرض الشريحة المحصودة، وعمومًا تترك فراغات كافية بين النباتات للسماح بمرور عجل الآلات في العمليات المتعاقبة. وتجف الخطوط العريضة أسرع بكثير بسبب كبر المساحة المعرضة لأشعة الشمس، ولكن يجب تجميعها في صفوف متقاربة للتمكن من التقاطها من الأرض. أما الصفوف الضيقة فهي عبارة عن شرائط من العلف تجف بمعدل أبطأ ولا تحتاج إلى عمليات تداول قبل التقاطها. وعادة يجب وضع الأعلاف بغرض التبن في صفوف عريضة

أما التي يصنع منها السيلاج فتوضع في صفوف ضيقة وذلك للتحكم في معدل التجفيف.

تجف الأوراق بمعدل أسرع من السيقان وذلك للبقوليات وأنواع النجيليات. والأوراق، وعلى وجه الخصوص في البقوليات، تكون ذات قيمة غذائية أعلى من السيقان. وقد تفقد الأوراق الجافة سريعة التقصف أثناء عملية التقليب والحصاد. ولتقليل مثل هذه الفواقد، يجب تهيئة العلف بحيث تجف السيقان بمعدل يقترب من معدل جفاف الأوراق. وعملية التهيئة هي عملية طبيعية للتكسير، والتصدع أو السحج للسيقان، أو عملية كيميائية لإذابة طبقة شمع الجليدين من السيقان. وتحسن أي من العمليات السابقة معدل تجفيف السيقان وذلك بتقليل المقاومة الطبيعية لنزع الماء من السيقان.

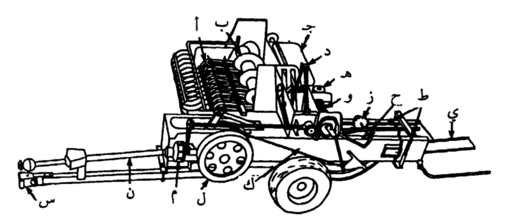


شكل ٨,٥. شكل تخطيطي ومقطع عرضي في آلة حش وتجهيز. لايظهر في الشكل الموجهات الجانبية المستخدمة في تكوين الصفوف.

يتم عادة قطع نجيليات وبقوليات الأعلاف بآلة تجمع بين عمليتي القطع والتهيئة، الشكل رقم (٨,٥). وبإمكان آلة الحش والتهيئة وضع العلف إما في صفوف عريضة أو متقاربة. كما يمكن استخدام آلة التقليب لحصاد الأعلاف أو الحبوب الصغيرة، ولكنها تقوم فقط بوضع المحصول في صفوف متقاربة.

من المعتاد كبس العلف إلى مستوى معين قبل نقله إلى المخزن وذلك بعد جفاف العلف إلى نسبة رطوبة مقدارها ٢٣٪ أو أقل. وعادة فإن عمل بالات

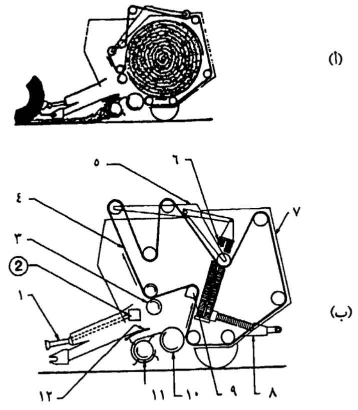
مستطيلة من التبن تتراوح كتلتها من ٢٥ إلى ٤٠ كجم، الشكل رقم (٦, ٨)، يوفر بالات مناسبة للتخزين ويمكن نقلها بواسطة شخص واحد أو آلة. وبسبب عدم المقاومة الجيدة للبالات المستطيلة لنفاذية الماء، فمن المعتاد نقلها وتخزينها أسفل مظلة بعد عمل البالات مباشرة. ومن الطرق الأخرى، يتم لف وتدوير العلف في بالات أسطوانية كبيرة تتراوح كتلتها من ١٠٠ إلى ٥٠٠ كجم، الشكل رقم (٧, ٨)، حيث تكون أكثر مقاومة لنفاذية الماء، وخاصة إذا تم لفها بالبلاستيك، وتخزن أحيانًا في العراء على الرغم من أن فواقد التخزين سوف تزداد. وتكون البالات الأسطوانية الكبيرة ثقيلة بحيث لايمكن تداولها يدويًا، ولذلك طورت معدات آلية خاصة لتداول ونقل مثل هذه البالات. ومن الطرق الأخرى المستخدمة هي تكويم التبن في بالات مستطيلة كبيرة وهي تتشابه من حيث الوزن والكثافة مع البالات الأسطوانية الكبيرة. ولاتستطيع البالات المستطيلة الكبيرة منع الماء، وعليه لايمكن تخزينها في العراء، إلا أنها أكثر ملاءمة للشحن بالشاحنات مقارنة بالبالات الأسطوانية الكبيرة.



شكل ٨,٦. آلة عمل بالات، تكبس التبن في بالات مستطيلة: (أ) لاقط، (ب) بريمة تغذية، (جـ) صندوق الخليط، (د) شوكة تغذية، (هـ) مضخة هيدرولية للتحكم في الكثافة، (و) العاقد، (ز) عجلة معايرة، (ح) ذراع معايرة، (ط) أذرع التحكم في الكثافة، (ي) مُسقط البالة، (ك) حجرة البالة، (ل) حذافة، (م) قابض انزلاقي، (ن) عمود مأخذ القدرة، (س) نقطة شبك.

(عن: **Prairie Agricultural Machinery Institute, Canada.**)

بالإضافة إلى ماسبق ذكره، تم تطوير طرق أخرى عديدة لحصاد العلف. وتشمل تلك الطرق عمل أقراص (كبسولات)، وتكويم أكداس التبن في الحقل، وكبس التبن على هيئة مخروط طويل، إلى جانب طرق أخرى كثيرة. وتم تطوير معدات خاصة لدعم الطرق السابقة. ولاتسمح مساحة هذا الكتاب بالتحليل الهندسي لجميع المعدات السابقة، وعلى ذلك فسوف يقتصر التحليل على المحشات، آلات التهيئة والتجهيز، التقليب، تقطيع العلف وعمل البالات.



شكل ٨,٧. آلة عمل بالات أسطوانية كبيرة موضحًا بها (أ) التشغيل و(ب) تفاصيل أجزائها: ١- عمود إدرة، ٢- صندوق تروس، ٣- بكرة نزع، ٤- سير الغرفة، ٥- أذرع شد، ٦- زنبركات شد، ٧- بوابة خلفية، ٨- طارد البالة، ٩- كامة وسيطة لتشكيل قلب البالة، ١٠- بكرة أرضية، ١١- لاقط، ١٢- مصد.

(عن : Prairie Agricultural Machinery Institute, Canada.)

٨,٢ العمليات الوظيفية

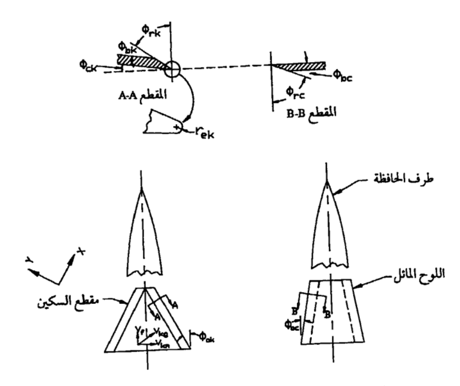
٨,٢,١ آليات القطع وتركيب النبات

يتضمن حش وتقطيع العلف عملية قطع المادة النباتية وسوف تخضع عملية القطع إلى التحليل الهندسي في هذا الفصل. وتوجد تطبيقات عديدة لمثل تلك التحليلات. فعلى سبيل المثال، تستخدم المحشات ذات قضيب السكاكين للقطع في حصاد التبن والعلف، وتوجد أيضًا مثل هذه القضبان في آلة الحصاد والدراس المستخدمة لحصاد القمح، فول الصويا ومحاصيل أخرى. وعلى ذلك فإن النظرية التي ستشرح في هذا الفصل ستكون مفيدة لفهم الفصل التاسع وربما في تحليل آلات أخرى لم يشملها هذا الكتاب.

هندسة شكل القطع. في العديد من الآلات الزراعية، تستخدم السكين لقطع النبات. ويتم القطع عادة عن طريق قص المادة بين سكين متحركة وأخرى ثابتة للقص المعاكس. وعند تصميم معدة لإنجاز القطع، فإن الأهداف المطلوب تحقيقها هي المحافظة على جودة المنتج المحصود وفي نفس الوقت تقليل القوة والقدرة اللازمتين لإنجاز هذا العمل. ويجب الأخذ في الاعتبار مواصفات كل من وسيلة القطع والنبات وذلك للوصول إلى تلك الأهداف.

يوضح الشكل رقم (٨,٨) العوامل الهندسية المرتبطة بمحشة حيث تتحرك السكين المتحركة حركة ترددية. يتم قص النبات عندما يصل جزء السكين ويمر فوق السكين الثابت (لوح مستعرض) الموضح على يمين الشكل. وفي اللحظة الموضحة في الشكل رقم (٨,٨)، تكون السكين قد تركت على التو الطرف الأيسر من مشوارها وتتحرك في اتجاه اللوح العرضي. وتعمل الحوافظ على توجيه النبات بين السكين واللوح العرضي كما تحمي أيضًا الأطراف غير الحادة من أجزاء السكين أثناء عكسها للاتجاه في نهاية المشوار.

نمطيًا، لنظرية القطع، يكون اتجاه محور (x) في هذا النظام في اتجاه حركة السكين بالنسبة للنبات. وفي الشكل رقم (٨,٨)، تكون للسكين مركبة سرعة (v_{km}) النسبية للمحشة، ومركبة أخرى (v_f) نتيجة الحركة الأمامية للمحشة. وبجمع



شكل ٨,٨. شكل هندسي توضيحي لسكين وقضيب قص.

متجهات هاتين المركبتين نحصل على سرعة السكين (v_{kg}) بالنسبة للأرض. وحيث إن النباتات المطلوب قطعها تكون مثبتة في الأرض، فإن السرعة (v_{kg}) تكون أيضًا سرعة السكين بالنسبة للنباتات غير المقطوعة. وعلى ذلك يكون اتجاه محور (x) في اتجاه السرعة (v_{kg}) ويكون محور (y) في الاتجاه العمودي على مستوى الصفحة ويتجه إلى أعلى. يلاحظ أيضًا أن اتجاه نظام المحاور الموضح في الشكل رقم (٨,٨) يمثل لحظة واحدة من الزمن، وحيث إن قيمة (v_{km}) تتغير خلال مشوار القطع فإن نظام المحاور يدور حول محور (z) عندما يتغير اتجاه (v_{kg}).

من البديهي أن تساعد السكين الحادة في القطع. وعلى ذلك، فمن الأهمية أن نفرق بين درجة الحدة ودرجة الدقة، فالسكين الدقيقة (الرفيعة) لها زاوية ميل (ϕ_{bk}) صغيرة بينما السكين غير الحادة لها زاوية ميل كبيرة. وتعرف درجة الحدة بمقدار نصف قطر حافة السكين (r_{ek}) أي أن السكين الحادة لها نصف قطر صغير بينما السكين غير

الحادة لها نصف قطر أكبر. كما يساعد الاختراق الأولي للسكين داخل النبات إذا كانت زاوية انحراف السكين (ϕ_{rk}) كبيرة. زاوية خلوص السكين (ϕ_{ck}) هي الزاوية المتكونة بين الحافة السفلية للسكين والمستوى (x-y). وعمومًا، تربط العلاقات التالية بين زوايا الانحراف، والميل، والخلوص:

$$\phi_{rk} + \phi_{bk} + \phi_{ck} = 90^{\circ} \qquad (٨,١)$$

وتعرف زاوية قطع السكين كما يلي:

$$\phi_{chk} = \phi_{bk} + \phi_{ck} \qquad (٨,٢)$$

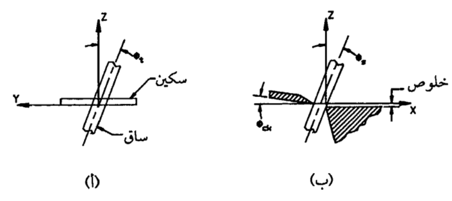
زاوية ميل السكين الحادة ($oblique, \phi_{ok}$) هي الزاوية المحصورة بين محور (y) وحافة القطع. وتمثل زاوية الميل (ϕ_{ok}) الموضحة في الشكل رقم (٨,٨) حالة خاصة عندما تكون ($V_f = 0$). أما القطع المستقيم فيكون عند زاوية ($\phi_{ok} = o$) وعلى العكس من ذلك، يكون القطع المائل عندما تكون ($\phi_{ok} \neq o$). ويقلل القطع المائل من أقصى قوة للقطع بسبب أن النباتات تقطع بالتدريج وليس مرة واحدة كما في القطع المستقيم.

توجد زوايا الميل، والانحراف، والخلوص، وميل السكين جميعها على قضيب القص المعاكس، كما هو موضح في الشكل رقم (٨,٨). ولكل واحدة من تلك الزوايا، يعني الحرف التحتي (k) أنها تتعلق بالسكين، بينما يعني الحرف التحتي (e) أن الزاوية مرتبطة بقضيب القص المعاكس. وزاوية الشبك ($clip, \phi_{cl}$) هي الزاوية المتكونة بين السكين وقضيب القص المعاكس، بمعنى أنها:

$$\phi_{cl} = \phi_{ok} + \phi_{oc} \qquad (٨,٣)$$

كثيراً مايحدث أن تكون سيقان النباتات غير موازية لمحور(z). ويوضح الشكل

رقم (٩ ,٨) زاوية الميل الجانبي للنبات (tilt, ϕ_t) وزاوية الإمالة للنبات (slant, ϕ_s) والمستخدمتين لتعريف اتجاه مثل هذه السيقان. فزاوية الميل الجانبي هي الزاوية المحصورة بين محور الساق ومحور (z) على المستوى (z-y)، بينما زاوية الإمالة هي الزاوية المحصورة بين محور الساق ومحور (z) على المستوى (z-x). ويوضح الشكل رقم (٩ ,٨) أيضًا زاوية الخلوص الموجبة على السكين وأيضًا مقدار الخلوص الذي قد يوجد بين السكين وقضيب القص المعاكس.



شكل ٨,٩. إيضاح لعدم ضبط (استقامة) الساق.

عندما لاتساوي الزاوية (ϕ_{ok}) صفراً ولايتلامس النبات مع قضيب القص المعاكس، تتزايد احتمالات انزلاق المادة النباتية على حافة السكين قبل أو أثناء قطعها. ويكون الانزلاق متوقعًا إذا زادت زاوية ميل السكين (ϕ_{ok}) عن القيمة العظمى للزاوية التالية:

$$\phi_{okmax} = \arctan f_{ek} \quad (٨,٤)$$

حيث: (f_{ek}) هو معامل احتكاك حافة السكين. ومعامل احتكاك الحافة هو القوة الجانبية (موازية لحافة السكين) المتولدة من النبات على حافة السكين مقسومة على القوة العمودية المتولدة من النبات. وعندما يتلامس النبات مع كل من السكين وقضيب القص المعاكس، يكون الانزلاق متوقعًا إذا زادت زاوية الشبك عن القيمة العظمى المعطاة بالمعادلة التالية:

$$\phi_{clmax} = \arctan \frac{f_{ek} + f_{ec}}{1 - f_{ek}\ f_{ec}} \qquad (٨,٥)$$

حيث :

ϕ_{clmax} = أقصى قيمة للزاوية والتي تمنع الانزلاق

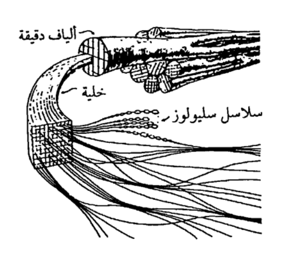
f_{ek} = معامل احتكاك حافة السكين

f_{ec} = معامل احتكاك حافة قضيب القص المعاكس.

وحيث إن الحركة الأمامية للمحشة تساعد في دفع النباتات باتجاه مؤخرة أجزاء السكين، فإن الانزلاق يكون أكثر حدوثًا عندما تكون السرعة (v_f) صغيرة. ولزيادة الاحتكاك وبالتالي منع الانزلاق، فمن الممكن شرشرة حافة السكين أو قضيب القص المعاكس. فعلى سبيل المثال، تم تسجيل قيمة لـ(f_{ek}) = ٠,٣٠٦ لحافة سكين ملساء و(f_{ec}) = ٠,٣٦٤ لسكين ثابتة مشرشرة أثناء قطع سيقان الكتان.

تركيب النبات. القطع هو عملية تتسبب في انهيار آلي لسيقان النبات أو الأوراق مما يوجب الاهتمام بدراسة تركيب وإجهادات المواد النباتية. إن الخواص الهندسية لأجزاء النبات ليست مفهومة بالقدر المماثل لتلك المواد الهندسية الشائعة مثل الصلب، إلا أنه أجريت بعض الدراسات الهندسية للمواد النباتية. وتتكون النباتات الحية من مواد صلبة تحيط بالهواء وبفراغات مملوءة بالسوائل. خلايا الألياف التي تتراوح أقطارها من ١٠ إلى ٥٠ ميكرومترًا وتزيد أطوالها عن ٣٠مم، تزود النبات بالقوة الأساسية. وتحتوي جدران الخلية الليفية على ثلاث طبقات رئيسة، الطبقة الوسطى الرقيقة، والجدار الأولي، والجدار الثانوي، وبسماكات مركبة قد يصل كل منها إلى ٥٠٠ نانومتر. ويقع الجدار الثانوي بداخل الجدار الأولي ويوفر المتانة والمرونة للتركيب. وتتحد سلاسل السيلولوز معًا، وهي التركيب الرئيس للجدار الثانوي، في صورة ألياف دقيقة متوازية ذات أطوال معقولة ومقطع عرضي تتراوح أبعاده من ٢,٥ إلى ٢٠ نانومتر، الشكل رقم (٨,١٠). وتوجه الألياف الدقيقة في شكل حلزوني، وتحدد زاوية الحلزون بالنسبة لمحور الخلية مقدار مرونة جدار الخلية. وكثافة جدار الخلية حوالي ١,٤٥ جم/م^3، إلا أنه يشكل قدرًا

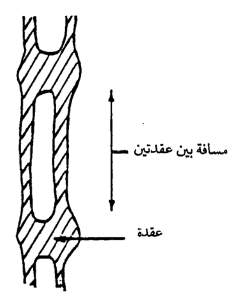
قليلاً من مقطع الخلية . وبعض الخلايا لها مقاومة تكاد تصل لمقاومة الصلب، إلا أن الفراغات العديدة تقلل بشدة من المقاومة المتوسطة للمقطع العرضي للنبات .



شكل ٨,١٠ . ترتيب وتكوين الألياف الدقيقة .

(عن : Mechanics of Cutting Plant Materials, Persson, 1987.)

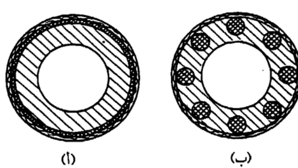
تتكون سيقان وأوراق النبات من أعداد كبيرة من الخلايا المتشابهة . ومن الناحية التركيبية، يمكن وصف السيقان على أنها مواد ذات ألياف لها جهد شد عال متجهة في اتجاه مشترك وتتحد مع بعضها بمادة ذات مقاومة أقل بكثير . وتستفيد الخلايا الأضعف من انتفاخها (ضغط السائل) لوصل وتدعيم الألياف . وتعد النجيليات، بما فيها الحبوب الصغيرة والذرة الشامية، والبقوليات من أكثر المواد الشائعة في عمليات القطع الزراعية، وعلى ذلك يوجد إهتمام خاص بتركيبها وقوة تحملها . كما يحتوي العديد من سيقان النجيل على وصلات عقدية مجوفة متصلة بالعقد المصمتة، الشكل رقم (٨,١١) . وتكون الوصلات بين العقد وبعضها أكثر ضعفًا من العقد نفسها وبالتالي تحدد متانة الساق . وتتكون سيقان الذرة من وصلات عقدية غير مجوفة إلا أن مقطعها يكون أكثر انتظامًا . ويوضح الشكل رقم (٨,١٢) نماذج مبسطة تم رسمها لتوضيح المقطع الحقيقي لساق أجوف وذلك لتحليل قوة متانة الساق أثناء عزم الانحناء . كما تتحدد المتانة بكمية الألياف التركيبية وموقعها في النبات وليس بواسطة الأبعاد الخارجية .



شكل ٨,١١ . مقطع طولي في ساق، موضحة عليه العقد ومابينها.

(عن: Mechanics of Cutting Plant Materials, Persson, 1987.)

يكون لجدران الخلية الثانوية في وضعها الطبيعي أقصى قوة شد لمدى يصل إلى ١١٠٠ نيوتن/م٢، ومعامل المرونة في مدى يتراوح من ١٠٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠٠ نيوتن/م٢، وأقصى انفعال من ٥,٠ إلى ٥٪. أما الخلايا المعرَّضة للضغط أثناء نمو النبات فلها قوة شد أقل ولكن مرونة أعلى. أما الخلايا الجدارية الأخرى فلها متانة



شكل ٨,١٢ . مقاطع عرضية مكافئة آليًا لساق، موضحًا بها مكونات التركيب الأساسي ذات ترتيب (أ) أسطوانة مركزية، و(ب) ثمانية أذرع تقوية. تم رسمها بمقياس رسم تقريبي بالنسبة للمساحة وعزم القصور الذاتي أثناء الانحناء (الانثناء).

(عن: Mechanics of Cutting Plant Materials, Persson, 1987.)

أقل بكثير، فعلى سبيل المثال، تتراوح قوة الشد لخلايا السطح (البشرة) من ٢ إلى ١٤ نيوتن/م٢. وتتراوح أقصى قوة شد للأجزاء الصلبة من نبات التيموثية أو البرسيم الحجازي من ٩٠ إلى ٤٧٠ نيوتن/م٢، وعند استخدام مقطع ساق البرسيم الحجازي بالكامل، وصلت أقصى قوة إلى مايتراوح من ٨ إلى ٣٥ نيوتن/م٢ فقط.

قوة عزم الانحناء لساق النبات قد تكون هامة أثناء القطع. فعلى سبيل المثال، تقوم بعض الأجهزة بقطع النبات في عدم وجود قضيب قص معاكس، فيكون تحميل ساق النبات أسفل مستوى القطع على هيئة كمرة كابولي. وفي أحوال أخرى قد يتم تحميل الساق في صورة كمرة ذات تدعيم بسيط. وفي أي من الحالتين، يكون اتجاه التحميل نصف قطري (عموديًا على المحور الطولي لساق النبات). ويمكن حساب قيمة الحمل نصف القطري الذي قد يسبب انهياراً عند عزم الانحناء من المعادلة التالية:

$$F_{bu} = \frac{I}{c}\,\frac{S_u}{L} \qquad (٨,٦)$$

حيث:

F_{bu} = أقصى حمل عند الانهيار بعزم الانحناء، نيوتن

I = عزم القصور الذاتي للمقطع العرضي، م٤

c = نصف القطر من محور الحياد للساق إلى أقصى مسافة مع ألياف محملة أو متتابعة، م

I/c = معامل المقطع، م٣

S_u = أقصى إجهاد لألياف النبات، نيوتن/م٢

L = البعد بين الحمل المركز إلى نقطة التثبيت، م.

كما يعطي الانبعاج (الالتواء) للساق بالمعادلة التالية:

$$\delta_r = \frac{F_r\,L^3}{C_b\,E\,I} \qquad (٨,٧)$$

حيث:

δ_r = الالتواء نصف القطري، م

F_r = حمل مركز نصف قطري، نيوتن

E = معامل مرونة ألياف الساق، نيوتن/م^2

C_b = ثابت (٣ للكابولي، ٤٨ لكمرة ذات تدعيم بسيط).

ويكون عزم القصور الذاتي لجسم مصمت متجانس، ذا مقطع دائري:

$$I = \frac{3\,\pi\,d^4}{64} \qquad (٨,٨)$$

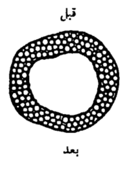
حيث (d) = قطر المقطع (م). ولجسم مجوف ذي جدار رقيق، يكون عزم القصور الذاتي كما يلي:

$$I = \frac{\pi\,d^3\,t}{32} \qquad (٨,٩)$$

حيث (t) = سمك الجدار، م. وبمقارنة المعادلتين رقمي (٨,٨) و(٨,٩)، يلاحظ أنه يجب أن يتناسب عزم القصور الذاتي لساق طبيعي مع قطر المقطع مرفوعًا لأس تتراوح قيمته من ٣ إلى ٤. وبالمثل، بافتراض أن محور الحياد قد تمركز في الساق، فيجب أن يتناسب معامل المقطع مع القطر مرفوعًا لأس تتراوح قيمته من ٢ إلى ٣. ويتحدد قطر المقطع المناسب بموقع الألياف ذات الخلايا الجدارية وليس بالقطر الخارجي، انظر الشكل رقم (٨,١٢). وعلى ذلك، فإذا استخدم القطر الخارجي، فإن قوة عزم الانحناء تكون أعلى من المتوقع بكثير. وإذا حطم أي حمل ساقًا قبل قطعه، انظر الشكل رقم (٨,١٣)، فيجب إعادة حساب معامل المقطع بالنسبة للشكل الهندسي الجديد للمقطع العرضي.

يزداد حجم سيقان النبات وقوة عزم انحنائها مع نضج النبات (Persson, 1987) وعلى سبيل المثال، ازدادت كتلة الساق الجافة لنبات التيموثية من ٠,٦ إلى ١,٤

قبل



بعد



شكل ٨,١٣. مقطع عرضي في ساق (أ) قبل و(ب) بعد الضغط.

(عن: Mechanics of Cutting Plant Materials, Persson, 1987.)

مليجرام/م من طول الساق عند نضج النبات، وزادت الصلابة (EI) لنفس الفترة من ١٢٦٠ إلى ٣٩٠٠ نيوتن.م². ولعشب العكرش الأحمر (والذي له ساق أرق كثيراً) عند نسبة رطوبة ٦٧٪، كانت القراءات على النحو التالي: زيادة كتلة الساق الجافة من٠,٠١٧ إلى ٠,٠٨٣ مليجرام/م مع زيادة نضج النبات، بينما زادت صلابة الساق من ٠,٥٣ إلى ٥,٧ نيوتن.م² وقد وجد أن صلابة نبات التيموثية تتغير بتغير القطر مرفوعًا لأس تتراوح قيمته من ٢,٦٦ إلى ٢,٩٩ ولسيقان القطن ولمدى قطر يتراوح من ٧ إلى ١٦ مم، تتغير الصلابة مع تغير القطر مرفوعًا للأس٣. ويتراوح معامل المرونة لسيقان القطن من ٦٠٠ إلى ٣٥٠٠ نيوتن/م² وتؤثر نسبة الرطوبة على مقاومة النباتات، حيث يؤثر ضغط السائل في الخلايا على صلابة الساق ومتانته.

وحيث إن النباتات يجب أن تقاوم قوة الرياح، فإن المقاومة تتغير أيضًا مع طول النبات، بمعنى أنه تكون أجزاء معظم النباتات أكبر وأقوى بالقرب من الأرض مقارنة بمثيلاتها عند قمة النبات. فعلى سبيل المثال، بالقرب من قاعدة قش الأرز وعند نسبة رطوبة ٦٢٪ كانت السيقان أثقل لكل وحدة طولية بمقدار يتراوح من ٣,٥ إلى ٤ أضعاف مثيلتها قرب قمة السيقان. يوضح المثال رقم (٨,١) حسابات متانة النبات والانحناء.

مثال رقم (٨,١)

تم تحميل ساق حي من البرسيم الحجازي قطره ٥ , ٢ م تحميلاً أفقيًا على بعد ٣٠م فوق سطح التربة، بمعنى، أنه تم تحميله على هيئة كابولي. وبناء على المقطع العرضي الإجمالي للساق فإن معامل المرونة يعادل ١٥٠٠ نيوتن/م٢ وأقصى قوة شد ٣٥ نيوتن/م٢. (أ) احسب القوة الأفقية التي تسبب انهياراً بواسطة عزم الانحناء.
(ب) احسب الالتواء الأفقي للساق عند نقطة الانهيار.

الحل. (أ) قبل استخدام المعادلة رقم (٨,٦) لحساب أقصى حمل، من الضروري حساب معامل المقطع (I / c) وتكون قيمة (c) مساوية لنصف قطر الساق ٢ أو ١ . ٢٥ م. ومن المعادلة رقم (٨,٨)، فإن عزم القصور الذاتي يعادل:

$$\pi \ * \ 2.54 / 64 = 1.92 \text{ mm}^4$$

$$I/c = 1.92 / 1.25 = 1.53 \text{ mm}^3$$

ثم من المعادلة رقم (٨,٦)، يكون أقصى حمل انحناء:

$$F_u = 1.53 * 35 / 30 = 1.79 \text{ N}$$

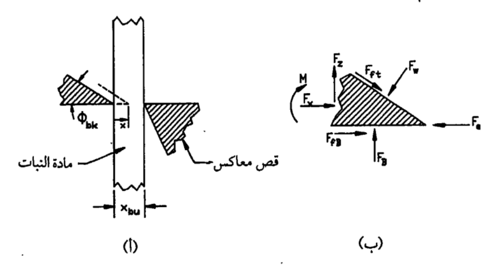
(ب) يمكن الآن استخدام المعادلة رقم (٨,٧) لحساب انحناء الساق:

$$\delta_r = 1.79 * 303 / (3 * 1500 * 1.92) = 5.6 \text{ mm}$$

ولهذا المثال، سوف يلتوي الساق بمقدار ٦ , ٥ م قبل انهيار أليافه تحت تأثير الانحناء.

آلية القطع. يمكن حدوث العديد من حالات انهيار النسيج أثناء القطع، اعتماداً على خواص السكين. ويتسبب الاختراق الأولي للسكين في إحداث تشكل محدود ودائم (متدفق) لمادة النبات. وللنباتات ذات الرطوبة المرتفعة ومع سرعة

عالية للسكين، يقلل ضغط السائل في السيقان من الانضغاط الأولي للنبات. ومع حركة أكثر للسكين، يحدث انضغاط والتواء أكثر، انظر الشكل رقم (٨,١٣)، واعتماداً على حدة وسرعة السكين، يمكن أن يستمر الانضغاط الأولي إلى الأمام من وإلى جوانب حافة السكين. ويتسبب الانضغاط الأولي الذي يحدث قبل الانهيار في البناء التدريجي للقوة على السكين وقد تستهلك طاقة الانضغاط الأولي مايقرب من ٤٠ إلى ٦٠ ٪ من إجمالي طاقة القطع. ومع انحناء الألياف إلى الأمام من حافة السكين، تنتقل قوة قص المادة لإنتاج إجهادات شد للألياف. وتصبح هذه الإجهادات كبيرة بقدر كاف لوقوع الألياف تحت تأثير الشد، وعند ذلك ينقل التحميل إلى الألياف ثم إلى الأمام من حافة السكين. ولمواد المحاصيل الشائعة، يحدث القطع عندما يتجاوز الضغط المبذول أمام حافة السكين مايتراوح من ٩ إلى ٣٠ نيوتن/م٢.



شكل ٨,١٤. إيضاح لقوى السكين أثناء القطع.

يبين الشكل رقم (٨,١٤أ) سكيناً وقضيباً معاكساً للقطع يقطعان طبقة من مادة النبات. القوى الموجودة على السكين موضحة في الشكل رقم (٨,١٤ب). وتكون القوة (F_x) في اتجاه حركة السكين عبارة عن مجموع قوة حافة السكين بالإضافة إلى مركبات القوى في اتجاه (x) المؤثرة على السطح العلوي والسفلي

للسكين أثناء اختراقها وضغطها على مادة النبات. وبافتراض أنه يتم فقط الضغط على المادة الموجودة أمام السكين مباشرة وباستخدام معامل كتلة مادة النبات، يمكن استنباط المعادلة التالية لقوة السكين:

$$\frac{F_x}{w} = \frac{F_{ek}}{w} + \frac{B_f\, x^{\lambda}}{2\, X_{bu}} * (\tan \phi_{bk} + 2\, f) \quad (٨,١٠)$$

حيث:

F_x = قوة دفع السكين في اتجاه (x) ، نيوتن

F_{ek} = قوة مبذولة من النبات على حافة السكين، نيوتن

w = عرض السكين، م

x = إزاحة السكين بعد التلامس الأولي، م

λ = أس

B_f = معامل كتلة العلف، نيوتن/م٢

X_{bu} = العمق غير المضغوط للمادة بين السكين وقضيب القص، م

f = معامل الاحتكاك بين العلف والسكين

ϕ_{bk} = زاوية ميل حافة السكين.

نظريًا في المعادلة رقم (٨,١٠) فإن $(\lambda = 2)$. إلا أنه، يعطي أسًا قيمته أصغر من ٢ لتتوافق بشكل أفضل مع بعض بيانات تجارب القطع. ففي تجربة لقطع طبقة رقيقة (٨.٩ م) من نبات التيموثية عند رطوبة ٢٠٪ وسرعة سكين بطيئة جدًا (٠,٤٢ م/ث)، فإن المعادلة رقم (٨,١٠) توافقت مع البيانات عند $(\lambda = 1.46)$ و $(B_f = 10\ N/mm^2)$ وقد تم حساب القوة على حافة السكين من حاصل ضرب المساحة الأمامية المسقطة لحافة السكين في الضغط المبذول على تلك الحافة من العلف. ويمكن حساب المساحة الأمامية التقريبية من المعادلة التالية:

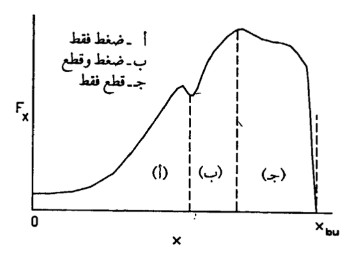
$$A_{ek} = r_{ek}\,(1 + \cos(\phi_{bk} + \phi_{ck})) \quad (٨,١١)$$

حيث :

A_{ek} = المساحة الأمامية لحافة السكين لكل م من العرض، م[٢]

r_{ek} = نصف قطر حافة السكين، م .

يبين الشكل رقم (٨, ١٥) منحنى اعتياديًا للقوة مقابل الإزاحة عندما تقطع النباتات بسكين وقضيب القطع . في الجزء (A)، يحدث انضغاط فقط عندما تكون قوة حافة السكين غير كبيرة بقدر كاف لتسبب القطع . وبعد الانهيار الأولي للساق، يستمر بعض الانضغاط في الجزء (B) أثناء القطع . وفي الجزء (C) من المنحنى تنضغط المادة تمامًا، ويستمر القطع ثم تنخفض القوة بشدة عندما تعبر حافة السكين حافة قضيب القطع . ومع الاختيار المناسب للمتغيرات، يمكن حساب القوة في الجزءين (A, B) باستخدام المعادلة رقم (٨, ١٠). ولايتضمن الجزء (C) انضغاطًا وعلى ذلك فلاتناسب المعادلة رقم (٨, ١٠) هذا الجزء من المنحنى. ويعتبر المنحنى الموجود في الشكل رقم (٨, ١٥) للقطع المستقيم، بمعنى أن ($\phi_{cl} = 0$) أما للقطع المائل، فإن أقصى قوة قطع ستكون أقل وأيضًا سوف تزداد فترة القطع مقارنة بالشكل رقم (٨, ١٥).



شكل ٨,١٥. منحنى القوة مقابل الإزاحة لسكين أثناء القطع المستقيم ضد ألواح قطع.

يكون الشكل رقم (٨,١٥) مفيداً في حساب متطلبات القدرة للقطع باستخدام سكين وقضيب القطع. وتكون الطاقة لكل مرة يحدث فيها قطع مساوية للمساحة الموجودة أسفل المنحنى الخاص بقوة القطع، وبالضرب في فترة تكرار القطع نحصل على القدرة. ويمكن استخدام المعادلة التالية لحساب متطلبات القدرة للقطع:

$$P_{cut} = \frac{C_F\ F_{xmax}\ X_{bu}\ f_{cut}}{60,000} \qquad (٨,١٢)$$

حيث:

P_{cut} = قدرة القطع، كيلوواط

F_{xsmax} = أقصى قوة للقطع، كيلونيوتن

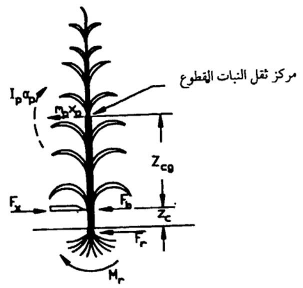
X_{bu} = عمق المادة عند التلامس الأولي مع السكين، م، انظر الشكل رقم (٨,١٥)

f_{cut} = تكرار القطع، قطعة/ د

C_F = النسبة بين متوسط إلى أقصى قوة قطع.

وعادة تتراوح قيمة (C_F) من صفر إلى ١، للمنحنى الاعتيادي للقوة مقابل الإزاحة كما هو موضح في الشكل رقم (٨,١٥)، وهو يساوي ٠,٦٤ تقريبًا.

ويجب تدعيم قوة القطع (F_x). فإذا وجد قضيب القص وكان الخلوص صغيراً ، فبالإمكان تدعيم القوة كلية بواسطة قضيب القص. وفي حالة عدم وجود قضيب قص، فيجب توفير قوة التدعيم كاملة بواسطة النبات نفسه من خلال قوة انحناء الجذع أسفل القطع وأيضًا بواسطة القصور الذاتي للنبات فوق مكان القطع. ويطلق على القطع الناشيء اسم، تبادليًا، قطع بالتصادم، قطع بالقصور الذاتي أو قطع حر. ومع زيادة الخلوص مع قضيب القص، يزداد دور قوة النبات والقصور الذاتي، وعلى ذلك، يكون القطع بالتصادم مماثلاً للقطع بقضيب القص مع خلوص كبير جداً. يوضح الشكل رقم (٨,١٦) القوى والعزوم على النبات أثناء القطع



شكل ٨,١٦. القوى والعزوم أثناء القطع التصادمي.

بالتصادم. حيث توفر التربة ونظام جذور النبات قوة مقدارها (F_B) وعزمًا مقداره (M_r) وهما يعملان على المحافظة على الساق قائمًا. ويمكن إهمال تسارع الساق. بينما تمثل القوة (F_B) التأثيرات المندمجة لنظام الجذر وقوة الساق في توفير مقاومة الانحناء عند ارتفاع القطع. ويكون مركز ثقل الجزء المقطوع من النبات على ارتفاع (z_{cg}) فوق مكان القطع. ويميل التصادم الموضح في الشكل رقم (٨,١٦) إلى تعاجل النبات المقطوع في اتجاه اليمين وفي عكس اتجاه عقارب الساعة، وفي نفس الوقت تظهر على النبات قوة القصور الذاتي وعزم القصور عند مركز الثقل. ويمكن استنتاج المعادلة التالية عن طريق جمع العزوم حول نقطة مركز الثقل للنبات المقطوع:

$$I_p\, \alpha_p = (F_x - F_b)\, z_{cg} \qquad (٨,١٣)$$

حيث:

α_p = التسارع الزاوي للنبات، ز/ث٢

F_x = قوة قطع، نيوتن

F_b = مقاومة الانحناء للساق، نيوتن

z_{cg} = ارتفاع مركز الثقل للنبات المقطوع، م، انظر الشكل رقم (٨,١٦)

I_p = عزم القصور الذاتي المركزي للنبات $(kg.m^2 = m_p . r_g^2)$

m_p = كتلة الجزء المقطوع من النبات، كجم

r_g = نصف قطر الحركة التدويمية للجزء المقطوع من النبات، م.

وبالتحليل الكينماتيكي (الحركي) للنبات نحصل على المعادلة التالية للتسارع الزاوي:

$$\alpha_p = \frac{a_c - a_{cg}}{z_{cg}} \qquad (٨,١٤)$$

حيث:

a_c = تعاجل النبات عند مستوى القطع، م/ث[٢]

a_{cg} = تعاجل مركزثقل النبات، م/ث[٢].

وبافتراض أن النبات يكتسب سرعة السكين عند مستوى القطع، أمكن استنباط المعادلة التالية:

$$a_c = \frac{1000\, v_k^2}{d_s} \qquad (٨,١٥)$$

حيث:

v_k = سرعة السكين، متر/ث

$d\,s$ = قطر الساق عند مستوى القطع، م.

يمكن تجميع المعادلات أرقام من(٨,٣) إلى (٨,٥) للحصول على المعادلة التالية لتقدير أقل سرعة للسكين للقطع التصادمي:

$$v_k = \sqrt{d_s \frac{(F_x - F_b)}{1000 * m_p}\left(1 + \frac{z_{cg}^2}{r_g^2}\right)} \quad (٨,١٦)$$

وعندما لاتتوفر قيم لكل من (r_g) و(z_{cg})، فبالإمكان الحصول على معادلة تقريبية مبسطة بافتراض أن ($r_g = z_{cg}$). وتبين المعادلة المبسطة المتغيرات الأساسية المتضمنة للقطع التصادمي. فإذا كانت مقاومة الساق للانحناء (F_b) كبيرة بقدر كاف لتدعيم كل قوى القطع (F_x) ، فإن أقل سرعة للسكين تساوي صفراً ويكون القطع مكافئًا للقطع بقضيب قص. ويؤدي خفض ارتفاع القطع إلى زيادة (F_b) وتقليل (F_x) وذلك بالاحتفاظ بسكين حادة مما يعملان على تقليل أقل سرعة مطلوبة للسكين. وقد أوضحت التجارب على القطع التصادمي لنبات التيموثية، على سبيل المثال، أن القطع سيتم عند سرعات صغيرة للسكين تصل إلى ٢٥ م/ث، بينما سرعات في حدود ٤٥ م/ث كانت مطلوبة للقطع المؤكد لجميع السيقان. ولتحقيق القطع المؤكد خلال مدى واسع من حدة السكين وصلابة الساق، يمكن التوصية عمومًا بأقل سرعات للسكين تتراوح من ٥٠ إلى ٧٥ م/ث. ويوضح المثال رقم (٨,٢) حسابات أقل سرعة للسكين للقطع التصادمي.

مثال رقم (٨,٢)

استخدم القطع التصادمي لقطع ساق البرسيم الحجازي الموجود في المثال رقم (٨,١) على ارتفاع ٣٠ م فوق سطح الأرض. وكتلة النبات فوق حد القطع تعادل ٠,٠١ كجم. افترض حدوث القطع عند وصول الضغط أمام حافة السكين إلى ٢٥ نيوتن/م[٢]. وزاوية ميل السكين ٢٠°، زاوية الخلوص تساوي صفراً، ونصف قطر الحافة ٠,٣ م. احسب (أ) القوة المتولدة من حافة السكين لتحقيق القطع، (ب) أقل سرعة مطلوبة للسكين للقطع التصادمي.

الحل. (أ) يمكن حساب المساحة الأمامية لحافة السكين باستخدام المعادلة رقم (٨,١١) كالتالي:

$$A_{ek} = 0.3\ (1 + \cos(20 + 0)) = 0.582\ mm^2/mm\ width$$

عـرض السكين غيـر معلوم ولكن، بما أنه يراد قطع ساق واحـدة، فـيمكن افتراض أن العرض يساوي قطر الساق، ٥ ,٢م. وعند ذلك، وباستخدام الضغط الحرج ٢٥ نيوتن/م٢، فإن القوة المطلوبة لبدء القطع تساوي:

$$F_{ek} = 0.582 * 2.5 * 25 = 36.4 \text{ N}$$

(ب) يمكن استخدام المعادلة رقم (١٦ ,٨) لحساب أقل سرعة سكين للقطع التصادمي. ولاتوجد قيم لكل من (r_g, z_{cg}) ولكننا سنفترض أن($r_g = z_{cg}$) . كما لم تعط قيمة للقوة (F_b) ولكننا سنفترض أنها تساوي أقصى حمل انحناء تم حسابه في المثال رقم (١ ,٨)، أي أنها تساوي ٧٩ ,١ نيوتن. وعلى ذلك تكون أقل سرعة للسكين:

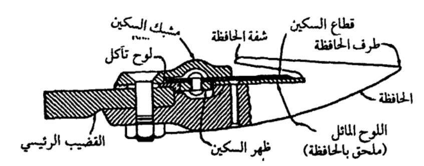
$$v_k = [2 * 2.5 (36.4 - 1.79) / (1000 * 0.01)]^{0.5} = 4.2 \text{ m/s}$$

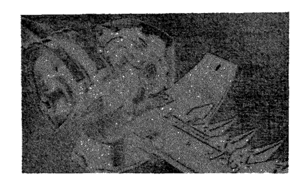
وفي هذا القطع المثالي لساق واحدة، كانت أقل سرعة منخفضة. ونمطيًا، للسماح بالتداخل لعدة سيقان أثناء القطع، تتراوح السرعة الموصى بها من ٥٠ إلى ٧٥ م/ث.

٨,٢,٢ القطع والتفتيت (التجزيء)

القطع بقضيب قص. يوضح الشكل رقم (١٧ ,٨) التركيب النمطي لقضيب قطع وتظهر مصطلحات وحدات القطع في القطاع العرضي التفصيلي من الشكل رقم (١٧ ,٨أ). ويمكن استبدال أجزاء السكين وأحيانًا الألواح المستعرضة. وقد تكون حافة السكين إما ملساء أو مشرشرة ويمكن فك كليهما لإجراء عملية الشحذ. وعادة تكون حواف الألواح المستعرضة مشرشرة من الجانب السفلي ولايتم شحذها. وتحافظ مشابك السكين على الخلوص الصحيح بين أجزاء السكين والألواح المستعرضة. بينما تدعم ألواح التآكل الحواف الخلفية لأجزاء السكين

ويجب استبدالها عندما يصبح الخلوص الرأسي كبيراً. وبالإضافة إلى حماية الأطراف غير الحادة لأجزاء السكين من المادة الداخلة إليها في نهاية كل مشوار، فإن الحوافظ تساعد أيضًا على حماية السكين من التلف بواسطة الحجارة. وعادة تكون المسافة التقليدية بين الحوافظ ٧٦,٢ م، وقد يكون مشوار السكين مساويًا أو حتى ١٥ م أقل أو أكبر من المسافة بين الحوافظ.



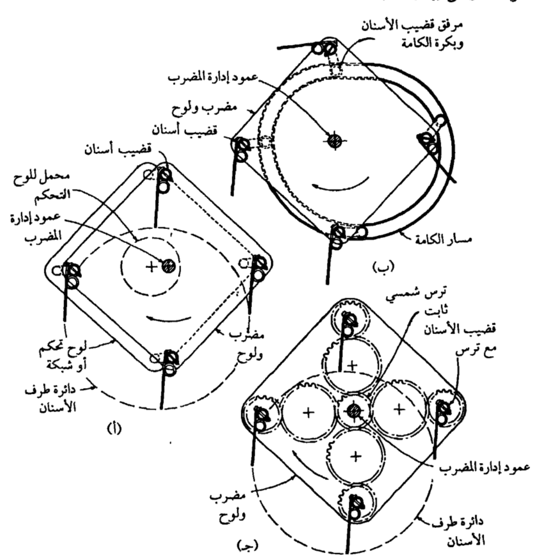


شكل ٨,١٧. قضيب قطع لمحشة مع وحدة إدارة.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

يتم حصاد معظم الأعلاف بواسطة آلة تجمع بين عمليتي الحش والتجهيز، من هنا جاء اسم آلة الحش والتجهيز. حيث يتم تركيب قضيب القطع والمضرب الملحق، الشكل رقم (٨,٥) على إطار منفصل يتم إلحاقه بالآلة بواسطة زنبرك حمل ذي وصلة رباعية الأذرع. وتوضع أحذية قابلة للضبط في كل طرف من المجموعة المنفصلة لضبط ارتفاع القطع، وعادة تكون في المدى من ٢٥ إلى ١٠٠ م. يتم ضبط زنبركات التعويم لتوفير رد فعل رأسي من الأرض في حدود من ٠,٣ إلى

٤ , ٠ كيلونيوتن على الأحذية. ويجب أن يتم تعويم مجموعة قضيب القطع بسهولة فوق الأرض وبدون وثبات.



شكل١٨ ,٨. التأثيرات المروحية (الريشية) المستخدمة في المضارب اللاقطة مع: (أ) شبكة لامركزية، (ب) تحكم بالكامة، (جـ) تحكم بتروس كوكبية. (عن: Richey et al., 1961)

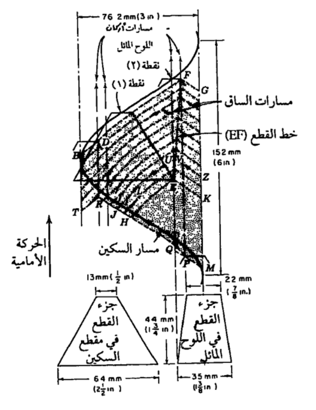
يستخدم المضرب اللاقط المستخدم مع آلة الحش والتجهيز أيضًا مع آلات أخرى، مثل حاصدات العلف وآلة الحصاد والدراس. ويبين الشكل رقم (١٨ , ٨)

ثلاثة أنواع مختلفة من الآليات المستخدمة مع الآلات اللاقطة. حيث تحافظ الآليتان المبينتان في الشكلين رقمي (١٨ ,٨أ) و(٨,١٨جـ) على أن تكون جميع أسنان المضرب متوازية في جميع الأوقات ولكن، بسبب بساطة وقلة تكاليف التحكم العنكبوتي غير المركزي فقد حل محل التروس السابق استخدامها. ويضبط مكان المركز لقرص لوح التحكم، الشكل رقم (١٨ ,٨أ) يمكن ضبط خطوة الأسنان. وعلى الرغم من أن التحكم بالكامة، الشكل رقم (٨,١٨ب) يكون أكثر تعقيداً من نظام التحكم الكوكبي غير المركزي، فإن الكامة تسمح بتغيير خطوة الأسنان لكل ذراع سن أثناء تقدم الذراع في دورته. وعلى ذلك، يمكن أن تُظهر الأسنان تأثيراً أقوى للرفع أثناء مرورها بالقرب من قضيب القطع.

يجب أن يكون لقضيب القطع ميل وتناسق ومحاذاة مناسبة. ويتم ضبط الميل بتدوير قضيب القطع حول محور مواز للسكين وذلك لرفع أو خفض أطراف الحوافظ. كما يتم الوصول إلى التناسق المناسب بتحريك قضيب القطع للداخل أو للخارج بالنسبة لآلية الإدارة حتى نحصل على مشوار سكين متماثل مع المسافة بين الحوافظ. ويكون قضيب القطع في المحاذاة المناسبة عندما يكون عموديًا على اتجاه الحركة أثناء الحش. وعمومًا لاتمثل المحاذاة أي مشكلة عندما يكون قضيب القطع مدعمًا أفقيًا من كلا الطرفين. وفي المحشات التي يمتد فيها قضيب القطع إلى الخارج من أحد جانبي الآلة، فإن القوى الأفقية على قضيب القطع تولد عزم انحناء ويتسبب الانحراف الناتج في تأخر الطرف الخارجي إلى الخلف من آلية التشغيل. ولتلافي التأخير، يجب أن يتقدم الطرف الخارجي عن آلية التشغيل بحوالي ٢٠ مم/م من طول القضيب عندما تكون الآلة متوقفة. كما يجب حماية خط التشغيل الموصل إلى قضيب القطع لمنع التلف الذي قد يحدث نتيجة اختناق السكاكين. ويمكن لسير على شكل حرف (V) توفير حماية من الحمل الزائد ولكن، في حالة عدم وجود سير في خط الإدارة، فيجب توفر قابض منزلق أو قابض قافز في خط الإدارة.

يعتبر تكرار القطع أحد المتغيرات الأساسية في تشغيل المحشة ذات ذراع السكاكين. حيث يساعد التكرار العالي للقطع في عملية القطع وذلك بزيادة (V_{km})، انظر الشكل رقم (٨ ,٨) كما يسمح أيضًا بسرعات تشغيلية أعلى. يبين الشكل رقم

(٨,١٩) الأبعاد النمطية لسكين ولوح مستعرض، بالإضافة إلى الشكل النمطي للقطع. لاحظ أن النباتات النامية في المساحة المحصورة بالنقاط (KMPQHE) في الشكل يجب أن تميل إلى الأمام ويتم قطعها من أمام النقطة (E). في الشكل رقم (٨,١٩)، تعادل هذه المساحة ٢٥٪ من المساحة الإجمالية للقطع لكل مشوار، وهذه الحزمة غير مرغوبة بسبب أنها تزيد من قوى القطع في حين لاتكون ارتفاعات القطع متساوية. ولتفادي الزيادة في هذه الحزمة مع المحشات التقليدية، يجب ألا تزيد السرعة الأمامية للمحشة عن ١٥٠ م لكل دورة سكين، وعلى ذلك تؤدي زيادة تكرار القطع إلى زيادة أقصى سرعة أمامية مسموح بها. وحيث أن سعة الحش للمحشة تتغير مع حاصل ضرب عرض قضيب القطع والسرعة الأمامية، فإن أقصى سعة للحش تتناسب طرديًا مع تكرار القطع. وبسبب أنه يجب عكس اتجاه السكين



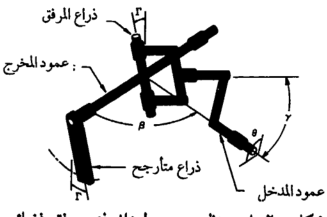
شكل ٨,١٩. نموذج قطع لمحشة تقليدية ذات قضيب سكاكين.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

ي نهاية كل مشوار، فإن الاهتزازات تحد من القيمة القصوى لتكرار القطع وتحتوي لمحشة الموضحة في الشكل رقم (١٧ ,٨ب) على أوزان معادلة تتحرك في اتجاه عاكس لحركة السكين لتقليل الاهتزازات. وتتوفر محشات ذات سكاكين مزدوجة، لاتوجد بها حوافظ ولكن يوجد سكينتان ترددتان تتحركان في اتجاهين متعاكسين. تسمح المحشات ذات السكين المزدوج بسرعة أمامية حتى ٢٢٠ م لكل دورة وبدون نتوءات زائدة كما توفر الحركة العكسية للسكاكين اتزانًا تلقائيًا. ويكمن العيب لرئيس لهذا النوع في أن عدم وجود الحوافظ يؤدي إلى تلف السكاكين غير المحمية واسطة الحجارة. ويكون من المرغوب فيه أيضًا وجود بعض الاهتزازات في قضيب لقطع لأنها تساعد على الاحتفاظ بتدفق المادة المقطوعة فوق قضيب القطع.

يوجد نوعان شائعان من الآليات لتحويل الحركة الدورانية إلى الحركة الترددية لمطلوبة لإدارة السكين، هما، آلية المرفق المنزلق أو المرفق ـ الفضائي (الترددي). لمرفق الفضائي هو الأكثر شيوعًا بسبب حجمه الصغير وسهولة توصيله بجهاز إدارة ي آلة.

المرفق الفضائي الهزاز (الترددي) هو آلية من مجموعة الآليات الكروية. وأحد الأجزاء الأخرى المعروفة من هذه المجموعة هو الوصلة الجامعة من نوع لكردان والتي سبق وصفها في الفصل الثالث. حيث تتقاطع جميع وصلات محاور هذه المجموعة من الآليات في نقطة معلومة. وفي المرفق الفضائي الترددي، يجب أن ينحرف عمود المخرج بالنسبة لعمود المدخل ويجب أن تكون الزاوية (γ)، الشكل



شكل ٨,٢٠. منظر مجسم لهزاز ذي مرفق فضائي.

رقم (٨,٢٠) أقل من الزاوية(β) وفي الهزاز الموضح بالشكل رقم (٨,٢٠)، تكون الزاوية (β) ٩٠° أو ١,٥٧ بالتقدير الدائري. وتتحكم المعادلات الثلاث التالية في الإزاحة، والسرعة، والتسارع على التوالي، ولعمود الاهتزاز فإن المعادلة رقم (٨,١٩) تفترض تسارعًا داخلاً يساوي صفراً:

(٨,١٧أ)
$$\tan(\Gamma) = \tan(\gamma)\sin(\theta)$$

(٨,١٨)
$$\dot{\Gamma} = \frac{\theta \tan(\gamma)\cos(\theta)}{1 + \tan^2(\gamma)\sin^2(\theta)}$$

(٨,١٩)
$$\ddot{\Gamma} = \frac{-\dot{\theta}\tan(\gamma)\sin(\theta)\left[1 + \tan^2(\gamma)\left(1 + \cos^2(\theta)\right)\right]}{\left[1 + \tan^2(\gamma)\sin^2(\theta)\right]^2}$$

حيث:

Γ = إزاحة العمود الهزاز، ز

θ = الإزاحة الدورانية لعمود المدخل، ز

γ = زاوية عمود المدخل، بالتقدير الدائري، انظر الشكل رقم (٨,٢٠).

وتوضح النقطة الموضوعة في المعادلتين رقمي (٨,١٨) و(٨,١٩) عملية التفاضل بالنسبة للزمن للمتغيرات الموضحة. وإذا كانت (γ < 0.33 rad) في المعادلة رقم (٨,١٧)، فإن دالة ظل الزاوية في المعادلة تساوي تقريبًا قيمتها بالتقدير الدائري وبالتالي فإن المعادلة المبسطة التالية تعطي قيمة إزاحة العمود الهزاز وبخطأ تقل نسبته عن ٢٪:

(٨,١٧ب)
$$\Gamma = \gamma \sin(\theta)$$

ويتم عادةً شبك ذراع اهتزاز إلى عمود الاهتزاز لتحويل الاهتزاز الدوراني للعمود إلى الحركة الخطية المطلوبة للسكين. ويلاحظ أن ذراع طرف الاهتزاز يتحرك في مسار على شكل قوس وليس في خط مستقيم. ويتم التغلب على هذه المشكلة

ستخدام وصلة مرنة لوصل الذراع بالسكين مع الاحتفاظ بزاوية اهتزاز صغيرة و
راع طويل في الحدود المقبولة.

وعمومًا لايوجد احتياج لاستخدام أوزان معادلة لتقليل الاهتزازات الناشئة
ن القوى الداخلة حيث أن كتلة الآلة التي تثبت قضيب القطع تكون كبيرة مقارنة
كتلة السكين الترددية. ومع ذلك، تتولد من الاهتزازات إجهادات، مما يزيد مشاكل
صيانة واحتمالية الانهيار المبكر للأجزاء المتحركة بسبب الإجهادات. ويمكن
لحصول على اتزان دينامي كامل في الأساس بشبك كتل موازنة بذراع المرفق. فعلى
سبيل المثال، إذا تم شبك كتلة موازنة تساوي كتلة السكين في أعلى ذراع المرفق كما
ي الشكل رقم (٨,٢٠) وكانت كل من السكين وكتلة الموازنة على نفس الارتفاع
ن عمود المخرج، فسوف تتلاشى قوى الاهتزاز الأفقية. وسوف توجد بقايا من
زم الاهتزاز الناشيء من الانفصال الرأسي بين السكين وكتلة الموازنة.

يمكن حساب السرعة التقريبية للسكين بالنسبة للمحشة (v_{km}) بافتراض أن
سكين تتحرك حركة جيبية. ويؤدي هذا الفرض إلى إهمال بعض الرتب التوافقية
لأعلى والتي قد توجد اعتماداً على النوع المحدد لوسيلة الإدارة المستخدمة لتحريك
سكين. وبافتراض حركة جيبية، فإن السرعة النسبية للسكين تعطى من المعادلة:

$$v_{km} = \frac{L_s\ \omega_c}{2000} \cos(\omega_c\ t) \qquad (٨,٢٠)$$

حيث:

v_{km} = سرعة السكين بالنسبة للمحشة، م/ث

L_s = طول مشوار السكين، م

ωc = تردد السكين، ز/ث

t = زمن مُقاس من مركز المشوار، ث.

تفيد المعادلة رقم (٨,٢٠) في تقدير سرعة السكين خلال منطقة القطع.
يضًا، كما هو موضح في المثال رقم (٨,٣) تفيد المعادلة رقم (٨,٢٠) في إيجاد

الظروف التي قد تنزلق عندها المادة النباتية أمام السكين وتهرب من القطع .

مثال رقم (٨,٣)

إذا كانت زاوية ميل السكين ٣٠° عندما تكون ($v_f = 0$)، بمعنى، عندما لاتتحرك المحشة إلى الأمام. وكان طول المشوار ٧٦,٢ مم وتكرار القطع ١٠٥ ز/ ث، فما هي أقل قيمة للسرعة (v_f) التي يحدث عندها، وخلال كل مشوار للسكين، تحرك المادة النباتية خلف السكين بدلاً من التحرك إلى أطراف السكين واحتمال هروبها من القطع؟

الحل . يمكن الحصول على معلومات مبدئية وذلك بتقدير الحالات التي تكون عندها زاوية الميل مساوية للصفر أثناء القطع حيث، عندما تكون زاوية الميل مساوية للصفر، فلاتميل النباتات للتحرك على طول حافة السكين. وتكون زاوية الميل مساوية للصفر عندما تكون حركة السكين بالنسبة للأرض عمودية على حافة السكين، أي عندما تكون:

$$v_f / v_{km} = \tan 30^\circ$$

أو، بالاستفادة من المعادلة رقم (٨,٢٠)، يكون:

$$v_f = (L_s\,\omega_c / 2000) \cos(\omega_c\, t) \tan 30^\circ$$

وتكون أكثر النقاط الحرجة عند منتصف المشوار ($t = 0$) والتي يكون عندها جيب الزاوية في أقصى قيمة له (١). وعلى ذلك، وبالتعويض عن القيم المعطاة لكل من (L_s , ω_c) فإن أقل سرعة أمامية للتحرك تساوي:

$$v_f = 76.2 * (105/2000) \cos(0) \tan(30^\circ) = 2.31 \text{ m/s}$$

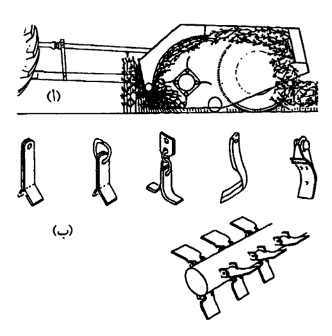
عندما تكون ($v_f = 2.31$ m/s) فلن يكون للنبات مركبة للسرعة في اتجاه (y) عند

منتصف المشوار ولكنها سوف تميل للتحرك إلى خلف السكين في باقي الأجزاء الأخرى من المشوار. وعند سرعات تحرك أبطأ، تميل النباتات للتحرك في اتجاه أطراف السكين عند منتصف المشوار. وبالطبع، وكما توضح المعادلة رقم (٤ ,٨)، قد يكون احتكاك حافة السكين كافيًا لمنع النباتات من التحرك على طول حافة مقطع السكين.

يمكن استخدام المعادلة رقم (١٢ ,٨) لحساب متطلبات القدرة النظرية لعملية الحش باستخدام محشة ذات قضيب قطع. إلا أن هذه المعادلة لاتشتمل على معامل احتكاك بين السكين وقضيب القطع أو أي فواقد أخرى، وبمقارنة قدرة عمود مأخذ القدرة الداخلة للمحشة أثناء عدم الحش وأثناء عملية الحش لمخلوط من العلف معتدل الكثافة، فقد وجد (Elfes, 1954) أن القطع يستخدم ٣٠٪ فقط من القدرة الكلية من عمود مأخذ القدرة وكان تكرار القطع ٩٤٢ دورة/ د ومتوسط إجمالي قوة السكين ٢ ,١ كيلونيوتن/ م من طول القضيب. كما قام كل من (Harbage and Morr, 1962) بقياس مقدار متوسط إجمالي قوة السكين وكانت ٣ ,٢ كيلونيوتن/ م عند حش النجيلة الزرقاء عند ١٢٥٠ دورة/ د. وتقترح مواصفة الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم (D 497) مقدار متطلبات قدرة عمود مأخذ القدرة بمقدار ٢ ,١ كيلونيوتن/ م من طول القضيب لحش البرسيم الحجازي. وبالإضافة إلى هذه القيمة يجب إضافة مقدار متطلبات قدرة الشد للتغلب على السحب الموجود على قضيب القطع ومقاومة التدحرج لكل من الجرار والمحشة.

القطع التصادمي، محور أفقي. يستخدم القطع التصادمي مع المحشات المدراسية (الفلالية) والدورانية. وكما هو موضح في الشكل التخطيطي رقم (٢١ ,٨أ) يدور المدرس في المحشات المدراسية حول محاور أفقية عريضة (مستعرضة). ويوفر تعليق المدرس مفصليًا المرونة في تأرجحها إلى الخلف لتفادي التلف في الحقول ذات الحجارة. ويستخدم العديد من أنواع السكاكين في المحشات المدراسية كما هو موضح في الشكل رقم (٢١ ,٨ب). كما يوفر التوزيع المتعرج للمدرس في صفوف متتالية التغطية الكاملة للصف المقطوع. ولقد عانت الطرز الأولى من المحشات المدراسية من الفواقد الكبيرة بسبب فقد الأجزاء الصغيرة من

العلف مع مخلفات الحقل. وتم تقليل الفواقد وذلك بتصميم الغطاء بحيث تميل النباتات للأمام وأيضًا السماح لسرعات أقل للسكين مقارنة بالسرعات المحسوبة بالمعادلة رقم (٨,١٦) والسرعات الأقل للسكين تقلل أيضًا عملية إعادة القطع. وقد وجد أن السرعات المفضلة للسكين في حدود ٤٣ م/ ث أو أقل، وهذه عادة تكون كافية. كما يوفر الدرفيل الموجود خلف العرض الكلي لمجموعة المدارس، الشكل رقم (٨,٢١أ)، التحكم الدقيق في ارتفاع القطع ومنع نزع المناطق العالية، يتم شبك المحشات المدراسية المقطورة بانحراف بحيث تسير عجلات الجرار على علف مقطوع وليس على المحصول القائم. ويوفر التأثير التمزيقي للسكاكين على السيقان تأثيراً مشابهًا لعملية التهيئة مما يساعد على زيادة معدل التجفيف. ومع النباتات القائمة، تستطيع المحشة المدراسية أن تقطع في المعتاد من ٥ إلى ١٠٪ أقل من المحصول الذي تقطعه المحشات ذات قضيب سكاكين. وعلى العكس، بإمكان المحشة المدراسية أن تقطع كمية أكبر بكثير من المحصول شديد الرقاد.



شكل ٨,٢١. محشة مدراسية، موضحًا عليها: (أ) منظر جانبي، (ب) تفاصيل المدرس.

(عن: Mechanics of Cutting Plant Materials, Persson, 1987)

تتبع أطراف السكاكين في المحشة المدراسية مسارات دائرية (تدويرية) عندما تتحرك المحشة إلى الأمام فوق سطح الأرض. ويمكن حساب الإحداثيات (x, z) لمسار باستخدام المعادلتين التاليتين:

$$\frac{x}{r_f} = \frac{v_f\, t}{r_f} + \sin \theta_r \qquad (٨,٢١)$$

$$\frac{z}{r_f} = 1 - \cos \theta_f \qquad (٨,٢٢)$$

حيث:

x = إزاحة الطرف في اتجاه (x) ، م

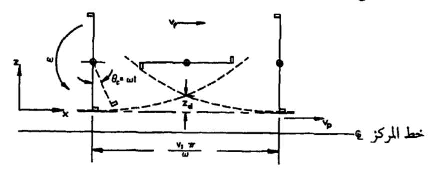
z = الإزاحة المقابلة للطرف في اتجاه (z) ، م

r_f = نصف القطر حتى طرف المدرس، م

v_f = السرعة الأمامية للمحشة، م/ث

θ_r = الإزاحة الدائرية للدوار، ز، انظر الشكل رقم (٨,٢٢)

t = زمن، ث.



شكل ٨,٢٢. تحليل القطع لمحشة مدراسية.

نظريًا، قد يصبح ارتفاع بقايا النباتات غير متساو إذا أصبحت (v_f) كبيرة جداً بالنسبة للسرعة المحيطية للسكين (v_p). وتوضح المسافة (z_d) في الشكل رقم (٨,٢٢) الارتفاع غير المتماثل لبقايا النباتات. ويمكن استخدام المعادلة التالية لحساب القيمة التقريبية للمسافة (z_d):

$$\frac{z_d}{r_f} = 1 - \cos \frac{\pi}{\lambda_r (1 + C_v)} \qquad (٨,٢٣)$$

حيث :

z_d = الفرق بين ارتفاع بقايا النباتات ، م

C_v = نسبة السرعة = (v_p/v_f)

λ_r = عدد صفوف المدارس في الدوار .

تتضمن المعادلة رقم (٨,٢٣) افتراضًا بأن جيب زاوية الدوار تساوي تقريبًا قيمة الزاوية بالتقدير الدائري . أما القيمة المقبولة للمعامل (C_v) فإن الفرض الموضوع يكون ساريًا . لاحظ أيضًا في الشكل رقم (٨ب,٢١) أن الصفوف المتعاقبة للمدارس قد تم وضعها متداخلة للتأكد من القطع خلال العرض الكلي للصف . وبسبب وجود الترتيب المتداخل والفراغات الجانبية بين المدارس ، فإن $(\lambda_r = 2)$ للدوار الموضح في الشكل رقم (٨أ,٢١) . وإذا علمنا أن القيمة النمطية للسرعة (v_p) للمحشات المدراسية في حدود ٤٣ م/ ث ، فإن قيمة(C_v) تكون ١٠ أو أكثر لسرعات التحرك الواقعية . وتوضح المعادلة رقم (٨,٢٣) أن بإمكان المحشة المدراسية إنتاج تماثل جيد لبقايا السيقان تحت الظروف السابقة .

تكون متطلبات القدرة للمحشة المدراسية أكبر بكثير من مثيلتها للمحشة ذات قضيب وسكين ولها نفس العرض ، وذلك بسبب احتياج القطع التصادمي لقدرة أكبر من القطع بقضيب قص وبسبب عملية ضخ الهواء بواسطة الدوار . وعلى ذلك ، فلاتصلح المعادلة رقم (٨,١٢) للمحشات المدراسية بسبب عدم وجود قضيب قص . وتقترح مواصفة الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم (D 497) المعادلة التالية لحساب متطلبات القدرة للمحشة المدراسية أثناء حش البرسيم الحجازي :

$$P_{mow} = 8.2 + 2.31\ \dot{m}_f \qquad (٨,٢٤)$$

حيث :

P_{mow}= القدرة المطلوبة من عمود مأخذ القدرة للمحشة المدراسية، كيلوواط
$\dot{m}_f$ = معدل التغذية، كجم/ ث.

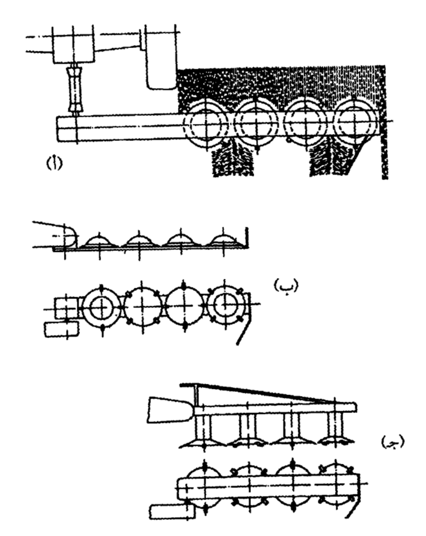
ويجب إضافة مقدار القدرة اللازمة على قضيب الشد للتغلب على مقاومة
دحرج للمحشة من أجل الحصول على متطلبات القدرة الكلية. ويمكن حساب
دل التغذية لأي محشة من المعادلة التالية:

$$\dot{m}_f = \frac{Y\, w_s\, v_f}{10} \qquad (٨,٢٥)$$

يث:
Y = إنتاجية العلف، على أساس رطب، ميجاجرام/ هـ
w_s = عرض الصف المقطوع بالمحشة، م
v_f = سرعة التحرك، م/ث.

بدمج المعادلتين رقمي (٨,٢٤) و(٨,٢٥) يتضح، وكما هو متوقع، أن
تطلبات القدرة تزداد بزيادة كل من السرعة وعرض القطع للمحشة المدراسية. وبما
، المحشة تقوم بنقل المادة، انظر الشكل رقم (٨,٢١) بالإضافة إلى قطعها، فإن
تطلبات القدرة تتزايد أيضًا مع إنتاجية المحصول. وتعتبر متطلبات القدرة عند
تاجية مقدارها صفر مؤشراً لمقدار القدرة المطلوبة لضخ الهواء وللتغلب على
احتكاك في المحشة.

القطع التصادمي، محور رأسي. يوضح الشكل رقم (٨,٢٣) محشة
رانية لحش العلف، وتعتبر مثالاً للقطع التصادمي باستخدام محور رأسي. بينما
بن الشكل رقم (٨,٢٣ب) محشة قرصية حيث تتواجد آلية التشغيل أسفل أسلحة
نطع. والمحشة من نوع الدرفيل (الأسطوانة-محشة أسطوانية) الموضحة في
شكل رقم (٨,٢٣جـ)، وتوجد آلية التشغيل فوق أسلحة القطع وتدور الدرافيل
تجاورة عكس بعضها بحيث يسقط المحصول المقطوع في صورة شرائط مميزة بدلاً



شكل ٨,٢٣. محشات دورانية، توضح: (أ) فعالية القطع، (ب) محشة من النوع القرصي، (جـ) محشة من النوع الأسطواني.
(عن: Mechanics of Cutting Plant Materials, Persson, 1987)

من توزيعه بانتظام على عرض القطع. وتتوفر أيضًا محشات تدور فيها الدرافيل في نفس الاتجاه. ويتم تصميم أسلحة الأقراص أو الدرافيل المتجاورة بحيث تتداخل مع بعضها للتأكد من القطع الكامل. وعند دوران كل سلاح حول مركزه بسرعة (ω_b) بينما يتحرك المركز بسرعة (v_f) فإن طرف السلاح يتحرك في مسار دوراني فوق الأرض، الشكل رقم (٨,٢٤). وتكون سرعة طرف السلاح بالنسبة للأرض عبارة عن مجموع المتجهات للسرعة الأمامية والسرعة المحيطية لطرف السلاح، بمعنى أنه:

$$v_{bg} = v_f + v_p \qquad (٨,٢٦)$$

حيث :

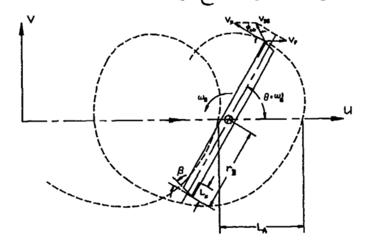
v_{bg} = سرعة طرف السلاح بالنسبة للأرض، م/ث

v_f = السرعة الأمامية للمحشة، م/ث

v_p = السرعة المحيطية لطرف السلاح ($m/s = r_b\ \omega_b$)

r_b = نصف القطر حتى طرف السلاح، م

ω_b = السرعة الدورانية للسلاح، ز/ث.



شكل ٨,٢٤. تحليل فعالية القطع لمحشة دورانية.

وحيث إنه تم تعريف الاتجاه (x) على أنه اتجاه السلاح بالنسبة للنبات، فيكون ي اتجاه (v_{bg}) ويتغير بانتظام في الاتجاه مع دوران السلاح. ولنظام الإحداثيات (u, v) ـير الدوراني الموضح في الشكل رقم (٨,٢٤)، تتحرك المحشة في اتجاه (u). تكون مركبتا سرعة طرف السلاح (u, v) :

$$v_u = v_f - r_b\ \omega_b \sin(\omega_b\ t) \qquad (٨,٢٧)$$

$$v_v = r_b\ \omega_b \cos(\omega b\ t) \qquad (٨,٢٨)$$

حيث :

v_u = مركبة السرعة لطرف السلاح في اتجاه(u) ، م/ ث

v_v = مركبة السرعة لطرف السلاح في اتجاه (v) ، م/ ث

t = زمن ، ث ، يقاس من نقطة بحيث $(\theta = \omega_b\, t)$

θ = الزاوية بين السلاح واتجاه الحركة $(\theta = \omega_b\, t)$ ، انظر الشكل رقم (٨,٢٤).

ويمكن حساب زاوية ميل السكين (ϕ_{ob}) باستخدام المعادلة التالية :

$$\tan(\phi_{ob}) = \frac{1}{C_v \sec(\theta) - \tan(\theta)} \qquad (٨,٢٩)$$

حيث $(C_v = V_p/V_f)$ وإذا كانت السرعة $(V_f = 0)$ فإن الزاوية $(\phi_{ob} = 0)$. وحيث أن السرعة (V_f) تكون دائمًا أقل بكثير من السرعة (V_p)، فإن زاوية ميل السكين تكون دائمًا قريبة من الصفر في المحشات الدورانية وبالتالي لاتكون هناك مشكلة في انزلاق مادة النبات على الحواف.

تتحدد مساحة القطع لكل مسار سلاح بمساحة هلالية الشكل محصورة بين مسارين متتالين للسلاح، الشكل رقم (٨,٢٤). ويُعطى مقدار التقديم لكل سلاح (L_a) بالمعادلة التالية :

$$L_a = \frac{2\pi\, v_f}{\lambda_b\, \omega_b} \qquad (٨,٣٠)$$

حيث :

L_a = التقديم لكل مسار سلاح ، م

λ_b = عدد الأسلحة في كل قرص أو درفيل .

ويجب أن يكون عرض الأطراف الحادة للأسلحة (L_s) أكبر من (L_a). ولأنه يجب أن تكون سرعة السلاح عالية للقطع التصادمي، كما توضحه المعادلة رقم

١٠, ٨)، وأن السرعة المحيطية تتناقص إلى الصفر عند المركز، فيجب أن تتحدد
يمة (L_a) للتأكد من القطع المعتمد. وسوف تكون القيمة المسموح بها للمسافة (L_a)
ل بكثير مما هو موضح في الشكل رقم (٨, ٢٤) حيث تم تكبير مقدار (L_a)
توضيح. ولتفادي سحب المحصول ضد أطراف الأسلحة (والتي تكون غير حادة)
يجب أن تخرط (تتحدب) الأطراف بزاوية مقدارها (β)، انظر الشكل رقم
٨, ٢٤). وتكون أكثر النقاط الحرجة لسحب المحصول عندما تصبح ($\theta = 0$)، أو
ندما تتوازن الأسلحة مع اتجاه الحركة. وتكون قيمة أقل زاوية مطلوبة (β) هي:

$$\beta = \arctan \frac{v_f}{r_b \ \omega_b} \qquad (٨, ٣١)$$

يكون أقصى عرض قطع يتم قطعه لكل قرص أو درفيل مساويًا ($2 r_b$) ولكن،
ضمان القطع الكامل فمن الضروري وجود بعض التداخل، كما يجب أن توضع
لأقراص أو الدرافيل على مسافات أقل من أقصى عرض للقطع. ويوفر نظام الإدارة
توقيت المناسب بحيث لا تصطدم السكاكين الموجودة على أي قرص (أو درفيل) مع
سكاكين الأخرى للوحدات المتجاورة. ويوضح المثال رقم (٨, ٤) الاعتبارات
لتصميمية لمحشة ذات محور رأسي.

ثال رقم (٨, ٤)

لمحشة دورانية مثل الموضحة في الشكل رقم (٨, ٢٣ب)، يحمل كل قرص
ربعة أسلحة ويدور القرص بسرعة ٣٠٠٠ لفة/ د. ويقطع كل قرص صفًا بعرض
٤, ٠ م. فإذا كانت أقصى سرعة أمامية ١٥ كم/ ساعة، احسب: (أ) أقل طول
طلوب لكل سلاح. (ب) اختر الطول الفعلي للسلاح. (جـ) القطر الأساسي لكل
ترص تشبك عليه السكاكين، (د) أخيراً، احسب أقل زاوية تحدب على طرف كل
سلاح.

الحل. (أ) يمكن استخدام المعادلة رقم (٨, ٣٠) لحساب أقل طول لكل من
لأسلحة الأربعة الموجودة على كل قرص. السرعة الأمامية ١٥ كم/ ساعة أو ١٧, ٤

م/ ث، وسرعة دوران القرص ٣٠٠٠ لفة/ د أو ٣١٤ ز/ ث. وعلى ذلك يكون أقل طول للسلاح:

$$L_a = 2 \pi 4.17 / (4 * 314) = 0.021 \text{ m or } 21 \text{ mm}$$

(ب) لمثل تلك الأسلحة القصيرة، لن يُترك فراغ كاف لتراكم النباتات المقطوعة لكي تحمل من الأمام إلى جانب القرص حتى يتم طردها. وعلى ذلك فسوف نختار طولاً أطول للسلاح ٠,٠٥ م أو ٥٠ مم.

(جـ) وعلى ذلك يكون القطر الأساسي للقرص:

$$\text{disk diameter} = 0.4 - 2\,(0.05) = 0.3 \text{ m or } 300 \text{ mm}$$ (قطر القرص)

(د) يمكن استخدام المعادلة رقم (٨,٣١) لحساب أقل زاوية تحدب لأطراف الأسلحة:

$$\beta = \arctan\,[4.17 / (0.2 * 314)] = 3.8^\circ$$

تتضمن المحشات الدورانية أشكالاً تصميمية متعددة وذلك بغرض السلامة. حيث يتم شبك السكاكين مفصليًا على القرص أو الدرفيل بحيث يمكنها التأرجح للخلف إذا اصطدمت بالحجارة أو أي عوائق، وتحافظ قوة الطرد المركزي على جعل السكاكين في وضع القطع أثناء التشغيل العادي. وحيث إن القواطع الدورانية تحتوي على كمية معقولة من القصور الذاتي، فعادة يوضع قابض متجاوز الدوران في خط الإدارة ليسمح للمحشة بالتوقف في حالة الإخلال بالقدرة. وعند اعتراض الصخور، بمقدور السكاكين عالية السرعة أن تقذفها بعيداً؛ مما قد يؤدي إلى حدوث جروح للسائق أو أي شخص يوجد بالقرب من الآلة. وعلى ذلك، لأسباب الأمن والسلامة يتم تغطية قضيب القطع بالكامل بالقماش أو بغطاء بلاستيكي مرن.

تزيد متطلبات القدرة للمحشة الدورانية كثيراً عن المحشة بقضيب ذي سكاكين ولها نفس العرض، وذلك لأنه لايتم قطع العلف فقط ولكن يكتسب عجلة أثناء

صادمه بالأسلحة. واقترحت التجارب التي أجريت في المعهد القومي للهندسة زراعية في إنجلترا (NIAE) (Persson, 1987, p. 176) المعادلة التالية لحساب متطلبات قدرة للمحشة الدورانية:

$$P_{mt} = (P_{Ls} + E_{sc}\ v_f)\ wc \qquad (٨,٣٢)$$

حيث:

P_{mt} = إجمالي قدرة عمود مأخذ القدرة للمحشة، كيلوواط

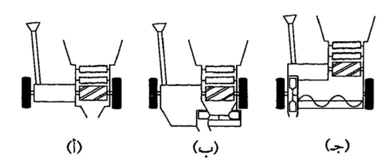
P_{Ls} = القدرة النوعية المفقودة بسبب الهواء، البقايا النباتية واحتكاك خط لإدارة، كيلوواط/ م عرض

E_{sc} = الطاقة النوعية للقطع، كيلوچول/ م^2

w_c = عرض المحشة، م.

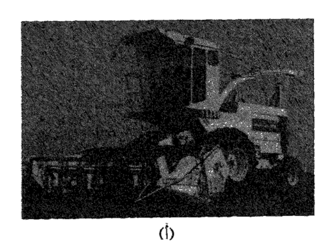
وقد اقترحت بيانات المعهد القومي للهندسة الزراعية في إنجلترا أن تكون لقدرة النسبية المفقودة في المدى ($1.5 < P_{Ls} < 4$ kW/m) للمحشات الدورانية ذات لقرص أو الدرفيل، وتكون المحشات القرصية عند المدى الأقل، بينما تكون لمحشات ذات الدرفيل عند المدى الأعلى. وتراوحت قيم المعامل (E_{sc}) من ٥ , ١ كيلوچول/ م^2 للأسلحة الحادة إلى ١ , ٢ كيلوچول/ م^2 للمحشات متآكلة الأسلحة. وقد أوضحت دراسة مسحية حديثة عن المحشات الدورانية في الأسواق أن إجمالي متطلبات القدرة لعمود مأخذ القدرة يتراوح من ١١ إلى ١٦ كيلوواط/ م من عرض لقطع وذلك أثناء الحش على سرعة ١٥ كم/ ساعة. ويجب إضافة مقدار القدرة للازمة لدفع المحشة والجرار لإيجاد إجمالي القدرة المطلوبة للحش. وتدور لأقراص في المحشات النمطية على سرعة ٣٠٠٠ لفة/ د أثناء قطع صف بعرض ٤ , ٠ م/ قرص. وتتراوح سرعات السكين النمطية بين ٦٠ و ٧٠ م/ ث. وتتوفر لمحشات بعدد أقراص يتروا ح بين ٣ و ٧ أقراص لتعطي مدى متغير لعرض الصف لمقطوع.

التفتيت (التجزيء). تشتمل حاصدات العلف على وسائل لتجميع المحصول إلى الآلة، ثم تفتيته إلى قطع صغيرة ومن ثم نقل العلف المفتت إلى مقطورة أو شاحنة. ولقد عرَّفت المواصفة القياسية للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم (S 472) نوعين رئيسيين من حاصدات الأعلاف، هما قطع دقيق وقطع غير دقيق. ويستخدم في معظم حاصدات الأعلاف للقطع الدقيق رأس قطع أسطوانية وقضيب قص ثابت. ولحاصدات العلف للقطع غير الدقيق، والتي ستناقش لاحقًا، يتم استخدام قواطع مدرسية لقطع وتفتيت المحصول القائم. ويمكن تقسيم حاصدات العلف للقطع الدقيق إلى نوعين آخرين هما: القطع-قذف والقطع-نفخ. تستفيد حاصدات القطع والقذف من الطاقة المنقولة إلى العلف أثناء القطع في نقل المادة المفتتة من الحاصدة، الشكل رقم (٢٥, ٨أ). بينما في تصميم القطع والنفخ يتم استعمال نافخ إضافي لنقل المادة، الشكل رقم (٢٥, ٨ب). ويستخدم في بعض حاصدات العلف ناقل بريمي بين جهاز التفتيت والنافخ، الشكل رقم (٢٥, ٨جـ) يسمح بتصميم القطع والنفخ بوضع النافخ والمقطورة خلف الجرار مباشرة، وبذلك يتلاشى السحب الجانبي، بينما يتطلب تصميم القطع والقذف وجود مكونات أقل مما يتطلب قدرة أقل.

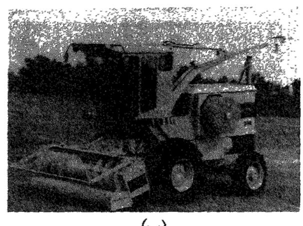


شكل ٢٥, ٨. حاصدات أعلاف مع (أ) قطع وقذف وتوصيل، (ب) قطع ونفخ وتوصيل، (جـ) قطع ونفخ مع ناقل بريمي وسيط.
(عن: Deere and Co.)

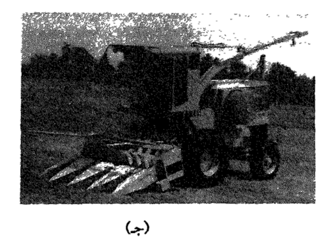
توجد ثلاثة أنواع مختلفة من الرؤوس لحاصدات القطع الدقيق هي: القطع المباشر، و لقط وتصفيف، أو رؤوس المحاصيل الصفية، الشكل رقم (٢٦, ٨). وتشتمل رؤوس القطع المباشر ذات عرض حتى ٤,٣ م على سكين ترددية ومضرب



(أ)



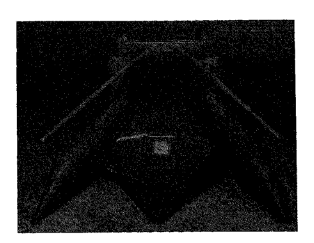
(ب)



(جـ)

شكل ٨,٢٦. وحدات تجميع لحاصدات العلف. (عن: New Holland, Inc.)

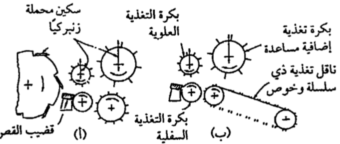
مثل الموجودة مع آلات الحصاد والدراس، الشكل رقم (٢٦ ,٨أ). أما الرؤوس اللاقطة، الشكل رقم (٢٦ ,٨ب) فتستخدم لتفتيت العلف المصفوف، أي العلف الذي تُرك للتجفيف الجزئي في صفوف. بينما تستخدم رؤوس المحاصيل الصفية وحتى سعة تصل إلى ستة صفوف لتفتيت الذرة أو أي محاصيل صفية، الشكل رقم (٢٦ ,٨ج). استبدلت السكاكين الترددية في الطرز الأولى لرؤوس المحاصيل الصفية بزوج من الأقراص الدورانية القاطعة وذلك لتقطيع العلف المصفوف. وباستخدام زوج من الجنازير التجميعية، أو زوج من سيور التجميع المطاطية الطافية المدعمة بعجلات مسننَّة، يتم الإمساك بالسيقان المقطوعة وسحبها إلى آلية التغذية حيث تتقدم قاعدة السيقان إلى الآلية أولاً، الشكل رقم (٢٧ ,٨).



شكل ٨,٢٧. سكاكين قطع دورانية وسلاسل (جنازير) تجميع في حاصدة أعلاف ذات وحدة صفية. (عن: Case-IH)

يبين الشكل رقم (٢٨ ,٨) نوعين من آليات التغذية لحاصدات العلف ذات قطع دقيق. وفي كلا النوعين، تحمل بكرات التغذية العلوية زنبركيًا وذلك لعمل كبس أولي (مبدئي) للعلف قبل وصوله للأسطوانة. يتم التحكم في طول القطع بواسطة السرعة المحيطية لبكرات التغذية بالنسبة لسرعة الرأس القاطع. ويتم وضع بكرة تغذية ملساء بالقرب من قضيب القص للمحافظة على الإمساك بالعلف لكي يكون قريبًا بقدر الإمكان من قضيب القص. ولإيجاد السرعة المحيطية لبكرات

التغذية الطافية ، فإن قطر الخطوة (الفعال) يكون أقل من القطر الخارجي .



شكل ٨,٢٨ . نوعان من آليات التغذية لحاصدة أعلاف .

(عن : Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

ويمكن حساب الطول النظري للقطع باستخدام المعادلة التالية :

$$L_c = \frac{60000\ v_f}{\lambda_k\ n_c} \qquad (٨,٣٣)$$

حيث :

L_c = الطول النظري للقطع ، م

v_f = سرعة التغذية ، م/ ث (تساوي السرعة المحيطية لبكرات التغذية)

λ_k = عدد السكاكين الموجودة على الرأس القاطع

n_c = السرعة الدورانية للرأس القاطع ، لفة/ د .

سوف يكون طول بعض الجزيئات أطول من الطول النظري عندما لاتكون السيقان موجهة في اتجاه مواز لاتجاه التغذية . بينما يكون البعض الآخر أقصر من الطول النظري عندما لايتوافق وصول نهايات السيقان مع وصول رأس السكين القاطع . وتتراوح الأطوال النظرية للقطع من ٣ إلى ٩٠ م . وعادة يكون الطول الفعلي للقطع قريبًا من الطول النظري مع المحاصيل الصفية ، حيث تتعامد السيقان تقريبًا مع قضيب القص . وللقطع المباشر للعلف ، يكون متوسط الطول الفعلي للقطع عمومًا أطول بحوالي ٥٠٪ من الطول النظري . وعند تفتيت المحاصيل المصفوفة ، يكون متوسط طول القطع الفعلي أطول بكثير من الطول النظري نتيجة التوجيه العشوائي للسيقان . ولأي حاصدة أعلاف ، يمكن زيادة الطول النظري

للقطع كثيراً وذلك بنزع سكاكين من رأس القطع. فعلى سبيل المثال، بالتدرج من ١٢ إلى ٦ إلى ٣ سكاكين، يمكن مضاعفة طول القطع مرتين كما يوجد نظام مفضل في ترتيب السكاكين هو (٨-٤-٢). ويمكن عمل تغييرات صغيرة في طول القطع وذلك بضبط سرعة التغذية. حيث تتباعد بكرات التغذية لتحدث سرعة التغذية المنخفضة، وأي تقليل إضافي في سرعة التغذية سوف يؤثر على سعة الحاصدة. ويتم عادة المحافظة على أقصى قيمة لسرعة رأس القطع التصميمية، نمطيًا بين ٨٥٠ إلى ١٠٠٠ لفة/ د، وعلى ذلك فلايوجد ضبط لسرعة رأس القطع. ويتراوح القطر العادي لرأس القطع من ٥٢٠ إلى ٧٧٠ م ويتراوح العرض من ٤٥٠ إلى ٦٢٠ م.

يمكن حساب السعة النظرية لآلة تفتيت العلف للقطع الدقيق باستخدام المعادلة التالية:

$$\dot{m}_f = \frac{\rho_f\, A_t\, L_c\, \lambda_k\, n_c}{6 * 10^8} \qquad (٨,٣٤)$$

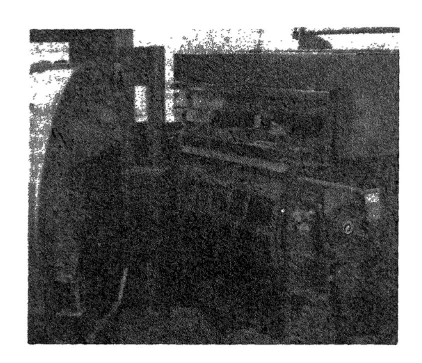
حيث:

$\dot{m}_f$ = السعة النظرية أو معدل التغذية، كجم/ث

ρ_f = كثافة العلف عند الفتحة، كجم/ م^3

A_t = مساحة الزور، سم^2.

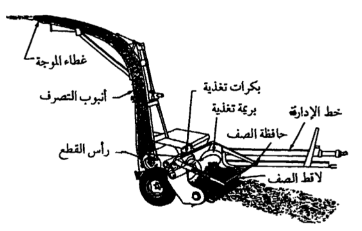
تتباين مساحة الزور كثيراً بين حاصدات الأعلاف، ولكنها تكون عادة في المدى بين ٧٧٠ إلى ١٣٥٠ سم^2. وبناء على بحث أجري في جامعة ويسكونسن، تتراوح الكثافة النمطية للعلف بين بكرات التغذية من ٥٦ كجم/ م^3 للتبن عند رطوبة ٢٦٪ إلى ٣٤٠ كجم/ م^3 للذرة الخضراء (الشامية). وإذا اختلفت إنتاجية العلف خلال أي صف في الحقل، فيتم ضبط التغيير المصاحب في السعة من خلال التغيير في عمق العلف بين بكرات التغذية. وعلى ذلك، فيجب أن تكون بكرات التغذية العلوية محملة زنبركيًا لتسمح بمثل هذا التغيير في العمق. ومساحة الزور تساوي حاصل ضرب عرض الأسطوانة في أقصى عمق للعلف بين بكرات التغذية العلوية والسفلية ويقع العمق النمطي الأقصى في مدى يتراوح من ١٤٠ إلى ١٨٠ م.



شكل ٨,٢٩. شبكة إعادة القطع مركبة بين رأس القطع والنافخ الدفعي.
(عن: Gehl Equipment Co.)

بعد تفتيت العلف بالرأس القاطع، تحتفظ قوة الطرد المركزي به ثابتًا ضد جدار الآلة بينما يحركه الرأس القاطع في اتجاه المخرج، وينهي الجدار الإمساك بالعلف عند القاع أو خلف الرأس القاطع ليسمح للمادة المفتتة بالهروب. في آلة القطع والقذف، يولد الرأس القاطع طاقة كافية لقذف المادة المفتتة إلى مقطورة مسحوبة أو شاحنة. وعلى العكس من ذلك في آلة القطع والنفخ يُستخدم نافخ دافع منفصل لنقل المادة المفتتة. وتركب في بعض الأحيان شبكة لإعادة القطع عند مخرج بيت الرأس القاطع. وبالعمل في اتجاه مضاد لشبكة إعادة القطع، يقوم الرأس القاطع بالتقليل الملحوظ من متوسط طول القطع للمادة الخارجة، الشكل رقم (٨,٢٩). ومع الآلات ذات شبكة إعادة القطع يجب استخدام نافخ دافع لنقل المادة المفتتة. ويسمح محرك كهربائي أو مُشغل هيدرولي يتم التحكم فيه من مقعد السائق بتغيير اتجاه التدفق أوإمالة طرف التوجيه لتوجيه العلف ليملأ تمامًا الشاحنة أو المقطورة، الشكل

رقم (٨,٣٠). ويبين الشكل رقم (٨,٢٨) إحدى الطرق لتسهيل الوصول إلى رأس القطع وشبكة إعادة القطع. حيث يُركب النافخ الدافع مفصليًا إلى آلة حصاد العلف. ويسمح تحريك النافخ بعيدًا عن رأس القطع من تركيب أو فك شبكة إعادة القطع أو صيانة الرأس القاطع.



شكل ٨,٣٠. منظر خلفي لحاصدة أعلاف موضحًا به أنبوب الطرد القابل للضبط وغطاء موجه العلف.

(عن: Prairie Agricultural Machinery Institute, Canada)

القدرة المطلوبة لحاصدات العلف ذات القطع الدقيق كبيرة جدًا بحيث قد تتأثر سعة الحصاد بمقدار القدرة المتاحة. وتُستهلك القدرة في: الجمع، ونقل وكبس المادة المطلوب قطعها، وتفتيت المادة ونقلها إلى الشاحنة أو المقطورة. وتشمل القدرة المفقودة وغير المستغلة في حاصدة الأعلاف كلاً من احتكاك المحامل، واحتكاك المادة المقطوعة مع جدار بيت رأس القطع، ودفع الهواء عند الرأس القاطع والنافخ. وقد وجد العديد من الباحثين أنه يمكن تقسيم القدرة المستخدمة في حاصدات الأعلاف القاطعة النافخة بالتقريب كما يلي: ٢٠٪ للجمع والتغذية، و٤٠٪ للرأس القاطع، و٤٠٪ للنفخ. وفي حدود الرأس القاطع، فإن القدرة تكون مطلوبة للكبس والقص، للتسارع وتحريك الهواء، وفي التغلب على الاحتكاك داخل غلاف الرأس القاطع. وسوف يتأثر توزيع القدرة في الحاصدة بكل من خواص المادة النباتية مثل: قوة القص، ونسبة الرطوبة، ومعامل الاحتكاك، وخواص الآلة مثل حدية السكين وطول القطع. ومع ذلك، يتطلّب القطع عادة الطاقة الكبرى عند رأس القطع، بينما

يمثل الاحتكاك أكبر متطلبات الطاقة عند النافخ. ويمكن حساب متطلبات الطاقة للتفتيت باستخدام المعادلة التالية:

$$P_c = \frac{1000\, C_f\, F_{smax}\, \dot{m}_f}{\rho_f\, L_c} \quad (٨,٣٥)$$

حيث:

P_c = القدرة المطلوبة للتفتيت، كيلوواط

$\dot{m}_f$ = معدل التغذية، كجم/ ث

ρ_f = كثافة المادة في الزور، كجم/ م٣

L_c = الطول النظري للقطع، م

F_{smax} = أقصى قوة نوعية للقطع من طول قضيب القص، نيوتن/ م

C_f = النسبة بين متوسط وأقصى قوة نوعية للقطع.

وعادة تكون السكاكين في رأس القطع لحاصدات الأعلاف ذات شكل حلزوني (لولبي)، ويعمل القطع المائل على إطالة فترة كل قطع، بينما يقلل من أقصى قيمة لقوة القطع. وبالمقارنة مع منحنى القوة مقابل الإزاحة للقطع المستقيم، سيعمل القطع المائل على إطالة وخفض المنحنى بدون تغيير المساحة الموجودة أسفل المنحنى، الشكل رقم (٨,١٥). وبذلك وكما في القطع المستقيم، تكون قيمة (C_f) في حدود ٠,٦٤ للقطع المائل النمطي. وتتغير القدرة اللازمة للتفتيت بتغير معدل التغذية وطول القطع، بينما توفر الطاقة النوعية للقطع مؤشراً أفضل لمقارنة التصميمات المختلفة لحاصدات الأعلاف. وتُعرَّف الطاقة النوعية للقطع كما يلي:

$$E_{sc} = \frac{1000\, C_f\, F_{smax}}{\rho_f} \quad (٨,٣٦)$$

حيث:

E_{sc} = الطاقة النوعية للقطع لكل وحدة كتلة من قضيب القص، چول. م/ كجم.

بقياس القدرة المستهلكة أثناء تغيير سرعة التغذية وأيضًا بنزع السكاكين لتغيير الطول النظري للقطع وبافتراض أن هذه التغييرات لاتؤثر على متطلبات القدرة الأخرى في حاصدة الأعلاف، فقد قام (Richey, 1958) بتقدير متطلبات الطاقة النوعية لرأسين قاطعين أسطوانيين. ولتلك الاختبارات، تم تفتيت البرسيم الحجازي عند رطوبة ٧٣٪ وطول قطع ١٣ م واستهلكت كمية تعادل ٣٣, ٠ كيلوواط. ساعة لكل ميجاجرام، أعطت قيمة مقدارها ٤, ١٥ چول. م/ كجم لـ (E_{sc}). وبمعلومية قيمة (E_{sc})، يمكن استخدام المعادلة التالية لحساب القدرة:

$$P_c = \frac{E_{sc}\ \dot{m}_f}{L_c} \qquad (٨,٣٧)$$

يلاحظ من المعادلة رقم (٨,٣٦) أن (E_{sc}) تتناسب مع أقصى قوة نوعية للقطع. وعلى ذلك، فمن المهم جداً المحافظة على السكاكين حادة وعلى الخلوص بين السكين وقضيب القص لتقليل متطلبات القدرة لتفتيت العلف. ومع تآكل حافة السكين من قطر ١, ٠ م (حادة) إلى ٣, ٠ م (غير حادة)، فإن طاقة القطع تتضاعف تقريبًا. كما تتضاعف أيضًا طاقة القطع عند زيادة الخلوص من ١, ٠ إلى ٤, ٠ م. ويؤدي التأثير المشترك لعدم حدة السكين وزيادة الخلوص كما سبق توضيحه إلى مضاعفة طاقة القطع بحوالي ثلاثة أمثال الطاقة العادية. كما تتسبب السكاكين غير الحادة مع الزيادة الكبيرة في الخلوص في تمزيق المحصول بدلاً من قصه، كما تؤدي أيضًا إلى تسارع التآكل بسبب الانحشار بين السكين وقضيب القص. ويوجد مع العديد من حاصدات العلف حجر تجليخ (شاحذ) ذي حركة جانبية تلقائية بطول الرأس القاطع كاختيار قياسي. ويسمح الشاحذ التلقائي للمشغل بأن يوقف الحصاد لشحذ السكاكين دون الخروج من الحقل. كما يجب أيضًا أن يكون الخلوص سهل الضبط. ويجب أن تتم عملية الضبط أثناء دوران رأس القطع عند السرعة العادية لإتاحة التمدد الناشيء عن الطرد المركزي لرأس القطع.

تعتبر كاشفات المعادن إحدى الخيارات الهامة لحاصدات الأعلاف. حيث إنه بإمكان المعدن أن يتلف جهاز التفتيت أو يتسبب في وفاة الحيوانات التي تأكل المعادن

مع العلف. وعندما يكتشف جهاز الإحساس المغناطيسي وجود معادن في زور الآلة، تتوقف بكرات التغذية تلقائيًا لمنع وصول أي معدن إلى رأس القطع. ويجب عكس اتجاه دوران بكرات التغذية لطرد المعدن الموجود مع العلف قبل استئناف عملية الحصاد.

يمكن حساب القدرة اللازمة للتغلب على الاحتكاك بين العلف المقطوع ورأس القطع أو بيت النافخ باستخدام المعادلة التالية:

$$P_f = \frac{\beta \mu \ \dot{m}_f \ v_{pc}^2}{1000} \quad (٨,٣٨)$$

حيث:

P_f = القدرة الممتصة بالاحتكاك نتيجة الفرك، كيلوواط

β = متوسط قوس الجدار الذي تحتك به المادة المفتتة، ز

μ = معامل الاحتكاك بين العلف والجدار الصلب (الحديدي)

$\dot{m}_f$ = معدل التغذية، كجم/ ث

v_{pc} = السرعة المحيطية لرأس القطع، م/ ث.

لاتصطدم كل النباتات التي تترك رأس القطع بالجدار عند نفس المكان، وعلى ذلك تكون الزاوية (β) متوسطًا لزاوية التلامس. ولقد أدرك صانعو الآلات أن الحيز القصير لرأس القطع يكون مرغوبًا فيه لتقليل قدرة الاحتكاك وبذلك يتم تقليل القوس (β) في معظم حاصدات الأعلاف الحديثة. وتقدم مواصفة الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم (D 251) بيانات عن معاملات الاحتكاك بين العلف المفتت والأسطح المعدنية. حيث يتراوح معامل الاحتكاك بين العلف والصلب من ٠,٢ إلى ٠,٨ اعتمادًا على نوع العلف، ونسبة الرطوبة، والسرعة المحيطية وبعض العوامل الأخرى. حيث تتراوح السرعة المحيطية النمطية لرؤوس القطع من ٢٠ إلى ٢٨ م/ ث، ولمثل تلك السرعات، فإن معامل الاحتكاك لكل من الذرة المفتتة والبرسيم الحجازي المفتت حوالي ٠,٤٩ فوق سطح صلب مصقول غير قابل للصدأ.

يمكن استنتاج القدرة المطلوبة لتسارع العلف عند رأس القطع أو النافخ بافتراض أن العلف يترك الأسلحة عند السرعة المحيطية للأسلحة تقريبًا :

$$P_{accel} = \frac{\dot{m}_f \; v_{ip}^2}{2000} \qquad (٨,٣٩)$$

حيث :

P_{accel} = القدرة اللازمة لتسارع العلف ، كيلوواط

v_{ip} = السرعة المحيطية لرأس القطع أو النافخ ، م/ ث .

ويقوم كل من رأس القطع والنافخ بتحريك الهواء، إلا أن الأخير يكون عند معدل أكبر. وطبقًا لقوانين المراوح المعروفة جيداً، تتغير قدرة المروحة طرديًا مع مكعب السرعة المحيطية. وبالاستفادة من البيانات التي توصل إليها (Blevins and Hansen, 1956) فقد استنتجت المعادلة التالية لحساب القدرة اللازمة لتحريك الهواء بشكل تقريبي :

$$P_{air} = \frac{v_p^3}{16,600} \qquad (٨,٤٠)$$

حيث :

P_{air} = القدرة اللازمة لتحريك الهواء ، كيلوواط .

تتغير قدرة الرأس، بما في ذلك القدرة المطلوبة لبكرات التغذية، بتغير معدل التغذية ولكن بصورة غير كبيرة فيما عدا عند سرعات تغذية عالية جداً. ويمكن استخدام المعادلة التالية لتقدير قدرة الرأس :

$$P_h = C_{h0} + C_{h1} \; \dot{m}_f \qquad (٨,٤١)$$

حيث :

P_h = القدرة المستهلكة عند الرأس، كيلوواط

C_{h0}, C_{h1} = ثوابت لأي رأس مُعطى، كيلوواط، كيلوواط . ث/ كجم .

الثابت (C_{h0}) هو مقدار القدرة المطلوبة للتغلب على الاحتكاك عند تشغيل الحاصدة فارغة. وتستهلك عملية التفتيت، النقل وكبس العلف بين بكرات التغذية كمية من القدرة تتناسب مع معدل التغذية.

بدمج المعادلات رقم (٨,٣٦) ومن رقم (٨,٣٨) إلى رقم (٨,٤١)، يمكن الحصول على معادلة القدرة الكلية المستهلكة (P_{fh}) لحاصدة الأعلاف. لاحظ أن قدرة الهواء تكون مستقلة عن معدل التغذية، بينما تتناسب القدرة المطلوبة لباقي المكونات مع معدل التغذية. ويكون شكل معادلة (P_{hf})مشابهًا للمعادلة التالية المنشورة في المواصفة (ASAE Data D 497) للقدرة الكلية المستهلكة لحاصدة أعلاف قطع دقيق:

$$P_{fh} = 1.5 + 3.3\ C_r\ C_c\ \dot{m}_f \qquad (٨,٤٢)$$

حيث:

P_{fh} = القدرة الكلية المستهلكة بواسطة حاصدة الأعلاف، كيلوواط

C_r = معامل إعادة القطع = ١ في حالة عدم وجود شبكة إعادة القطع، أو ٢ في حالة وجودها

C_c = معامل المحصول = ١ للذرة الخضراء، ١,٣٣ للبرسيم الحجازي الأخضر أو ٢ للعلف أو التبن منخفض الرطوبة.

على الرغم من أن المعادلة رقم (٨,٤٢) تأخذ شكلاً مناسبًا، فإن الثوابت الموجودة تمثل حالات متوسطة فقط وعلى ذلك لاتصلح المعادلة لتقدير تأثير عوامل التصميم المختلفة. يوضح المثال رقم (٨,٥) تصميمًا لحاصدة أعلاف ذات قطع دقيق.

مثال رقم (٨,٥)

حاصدة أعلاف قاطعة قاذفة لها رأس قطع أسطواني عرضه ٥٠٠ م وقطره ٦٠٠ م وتحمل ثماني سكاكين تدور بسرعة ٩٥٠ لفة/ د. متوسط طول القطع ٧ م. أقصى ارتفاع لزور الآلة ١٨ سم. أثناء قطع الذرة، كانت كثافة المادة المكبوسة عند

الزور ٣٢٠ كجم/ م[٣] والطاقة النوعية للقطع ١٥ جول . م/ كجم . ومعامل الاحتكاك بين العلف والجدار ٠,٤٩ ، ومقدار قوس التلامس للمادة مع الجدار ٢,٥ دائري . افترض أن معاملات القدرة لرأس الآلة هي ٠,٦ كيلوواط و ٠,٣ كيلوواط . ث/ كجم . احسب (أ) سرعة التغذية المطلوبة خلال رأس القطع ، (ب) أقصى معدل تغذية مسموح به للحاصدة ، (جـ) القدرة الكلية المطلوبة للحاصدة .

الحل . (أ) يمكن إيجاد سرعة التغذية المطلوبة وذلك بحل المعادلة رقم (٨,٣٣) بدلالة (v_f) :

$$v_f = L_c \lambda_k n_c / 60000 = 7 * 8 * 950 / 60000 = 0.887 \text{ m/s}$$

(ب) قبل استخدام المعادلة رقم (٨,٣٤) لحساب أقصى معدل تغذية مسموح به ، يجب حساب أقصى مساحة للزور أولاً . وهي تساوي :

$$A_t = \text{cutterhead width} * \text{throat height} = 50 * 18 = 900 \text{ cm}^2$$

وبذلك يكون أقصى معدل تغذية مسموح به :

$$\dot{m}_f = 320 * 900 * 7 * 8 * 950 / (6*108) = 25.5 \text{ kg/s or } 92 \text{ Mg/h}$$

(جـ) يجب حساب مكونات متطلبات القدرة المختلفة باستخدام المعادلات رقام من (٨,٣٧) إلى (٨,٤١) وذلك للحصول على القدرة الكلية المطلوبة . تكون السرعة المحيطية لرأس القطع مطلوبة لحساب القدرة المستهلكة في لاحتكاك ، وتسارع العلف وفي تحريك الهواء . فإذا كان نصف قطر رأس القطع ٠,٣ م وسرعة الدوران ٩٩,٥ ز/ ث . تكون السرعة المحيطية مساوية لـ :

$$v_{pc} = v_{pi} = 0.3 * 99.5 = 29.9 \text{ m/s}$$

الآن يمكن حساب متطلبات القدرة المختلفة :

$$P_c = 15 * 25.5 / 7 = 54.6 \text{ kW}$$

$$P_t = 2.5 * 0.49 * 25.5 * 29.92 / 1000 = 27.9 \text{ kW}$$

$$P_{accel} = 25.5 * 29.92 / 2000 = 11.4 \text{ kW}$$

$$P_{air} = 29.93 / 16600 = 1.6 \text{ kW}$$

$$P_h = 0.6 + 0.3 * 25.5 = 8.3 \text{ kW}$$

$$P_{fh} = 54.6 + 27.9 + 11.4 + 1.6 + 8.3 = 103.8 \text{ kW}$$

في هذا المثال ، لحاصدة القطع والقذف ، القدرة الواصلة لعمود نقل الحركة لرأس القطع تساوي مجموع كل من (P_c, P_f, P_{accel}, P_{air}) . وعلى ذلك ، فإن ٥ , ٩٥ كيلوواط أو ٩٢٪ من متطلبات القدرة الكلية يتم توصيلها لعمود نقل الحركة لرأس القطع .



شكل ٨,٣١ . حاصدة أعلاف مدراسية . (عن : Ford New Holland, Inc.)

تمثل حاصدات الأعلاف ذات القطع غير الدقيق بديلاً أقل تكلفة مقارنة مع الحاصدات ذات القطع الدقيق . يوضح الشكل رقم (٨,٣١) حاصدة أعلاف

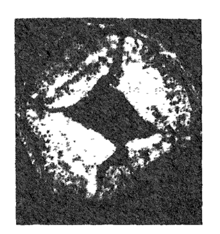
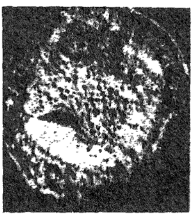
مدراسية النوع، ذات قطع غير دقيق. حيث تقوم مدارس مشابهة للموجودة في المحشة المدراسية، الشكل رقم (٨,٢١) بقطع المحصول القائم وتوصيله إلى بريمة مستعرضة. وتتراوح سرعة الدوار عادة من ١١٠٠ إلى ١٦٠٠ لفة/ د، مما يعطي سرعات محيطية للمدارس تتراوح من ٤٥ إلى ٦٠ م/ ث. وتنقل البريمة العلف المقطع إلى نافخ دافع ليتم نقله إلى المقطورة المجرورة. وفي بعض الحاصدات المدراسية، يستبدل النافخ الدافع برأس قطع وحذافة. ويعمل رأس القطع على إعادة تقطيع العلف ثم نقله إلى المقطورة. وتحتوي آلية إعادة القطع عادة على اثنتين، أو ثلاث، أو ست سكاكين وذلك لتوفير أطوال قطع متغيرة. ويكون متوسط أطوال المادة المعاد قطعها مقاربًا للأطوال الموجودة في حاصدات القطع الدقيق فيما عدا أن الأطوال تكون أقل تماثلاً. تكون متطلبات القدرة لحاصدة الأعلاف المدراسية المزودة بجهاز إعادة قطع ضعف أو أكثر من القدرة المطلوبة لحاصدة الأعلاف ذات القطع الدقيق تقريبًا. وعلى ذلك، تتلاشى جزئيًا ميزة سعر الشراء المنخفض للحاصدة المدراسية نتيجة ارتفاع تكلفة التشغيل. كما أن الحاصدات المدراسية أقل تعددًا في الاستخدام بسبب عدم إمكانية استخدامها في حصاد المحاصيل الصفية.

٨,٢,٣ حفظ ومعالجة العلف

من الممكن أن يكون الفقد في المادة الجافة وفي النوعية عاليًا جدًا أثناء حصاد التبن (علف جاف)، خصوصًا التبن ذي الأوراق مثل البرسيم الحجازي أو البقوليات الأخرى. في البرسيم الحجازي، على سبيل المثال، يمثل البروتين الجاف حوالي ٢٨٪ من المادة الجافة للأوراق، بينما لايمثل إلا ١١٪ فقط من المادة الجافة للسيقان. ويوفر البروتين والكربوهيدرات غير التركيبية معظم القيمة الغذائية من الأعلاف، بينما تكون الألياف غير المنظفة (NDF) أقل هضمًا وتعمل أساسًا كطعام خشن في الأمعاء (وهي مادة خشنة، عادة عالية السيلولوز، وتعمل كتلتها على تنشيط الحركة اللاإرادية في الأمعاء الداخلية). ويحدث الفقد في المادة الجافة وفي النوعية بسبب تنفس النبات، والأمطار، وفواقد الآلة أثناء الحصاد. وفي المعتاد، يُفقد حوالي من ٣٪ إلى ٥٪ من المادة الجافة للنبات، وتتكون أساسًا من

الكربوهيدرات غير التركيبية، أثناء التنفس بعد القطع. وبذلك يعمل التنفس على زيادة تركيز البروتين الجاف و(NDF) في العلف. ويتوقف التنفس عندما يجف النبات إلى نسبة رطوبة ٤٠٪. بينما تتسبب الأمطار في تساقط الأوراق وفي فواقد الغسيل. يؤدي فقد الأوراق إلى إعادة ضبط نسبة الأوراق إلى الساق، مما يتسبب في فقد كلي لتركيز البروتين الجاف وزيادة تركيز الألياف. بينما يتكون فقد الغسيل من الأوراق والسيقان من مادة غير ليفية، وتكون نسبة البروتين الجاف الناتجة من فقد الغسيل حوالي ٢٠٪ أكثر من فقد باقي المادة الجافة نتيجة الغسيل. وتشتمل فواقد الآلة على كل من الأوراق والسيقان إلا أن الفقد في الأوراق يكون أكثر، وعلى ذلك فإن الفقد الناتج من الآلة في نسبة الأوراق والسيقان قد يعمل على خفض التركيز الكلي للبروتين في العلف. وحيث أن التجفيف السريع للعلف يقلل من فواقد التنفس وأيضًا يقلل من فرصة تساقط الأمطار على العلف المقطوع، فإن الفقد في المادة الجافة وفي النوعية تقل بالتجفيف السريع.

تجف أوراق المحاصيل البقولية بصورة أسرع كثيرًا من السيقان بسبب أن نسبة السطح إلى الحجم للأوراق تكون أكبر كثيرًا من مثيلتها في السيقان. أيضًا، تعمل طبقة شمع الجليدين الموجودة على سطح السيقان كحاجز طبيعي لفقد الرطوبة مما يقلل من معدل تجفيف السيقان. وعلى ذلك فإن التهيئة والتجهيز هي عملية يتم فيها تكسير السيقان، وتكسيرها أو سحجها بحيث تجف على معدل مساو تقريبًا لمعدل تجفيف الأوراق. ويوضح الشكل رقم (٨,٣٢) صورة مكبرة لمقطع عرضي لساق تم تجهيزه وآخر غير مجهز. وتتم عادة عملية تجهيز البقوليات بإمرار العلف بين مجموعة بكرات التجهز، إما من النوع ذي العجلات المموجة أو كسارات معشقة. والنوع ذو البكرات المموجة، والذي يوجد به حزوز عميقة تعمل على شدة التغذية، تكون فرصة اختناقه قليلة ولكنه قد يتسبب في فقد شديد للأوراق. وتحدث عملية التجهيز عن طريق تكسير كل ساق أثناء ثنيه لكي يمر خلال البكرات. بينما تكون بكرات التكسير المتداخلة أقل شدة، وبالتالي تقل فرصة فقد الأوراق. وتكتمل عملية التجهيز بتكسير السيقان. ويجب أن تكون السرعة المحيطية لبكرات التجهيز من ثلاثة إلى أربعة أضعاف السرعة الأمامية للآلة وذلك للمحافظة على طبقة رقيقة من

شكل ٨,٣٢. تكبير لسيقان برسيم حجازي مضغوط ومجهز واخر غير مجهز. (عن : .Deere and Co)

العلف بين البكرات، حيث يتم تجهيز الطبقات الرقيقة بصورة أكثر فاعلية وأكثر تماثلاً من الطبقات السميكة. كما يمكن الحصول على طبقات رقيقة عندما يوفر المضرب معدل تغذية متماثلاً إلى آلة التجهيز وأيضًا باستخدام أقصى عرض ممكن للبكرات، إلا أن، حدود التصلبية (stiffness) تجعل هناك مدى عمليًا لعرض البكرة. ويجب أن تتغير المسافة بين البكرات تلقائيًا لتتلاءم مع الإنتاجية المختلفة للمحصول. وتستخدم زنبركات للمحافظة على الضغط بين البكرات ويمكن ضبط قوة الزنبرك للتحكم في درجة تجهيز المحصول، كما يوجد ضبط لأقل خلوص بين البكرات، حيث يزداد أقل خلوص للمحاصيل ذات السيقان الكبيرة، حيث يتسبب الضغط الزائد للبكرات أو عدم وجود خلوص كاف في زيادة كبيرة في فقد الأوراق. تصنع البكرات عادة من الصلب، أو المطاط الصناعي أو هياكل الإطارات. وقد وجد (Shinners et al., 1990) أنه لايوجد فرق في فقد الأوراق أو معدل التجفيف للبرسيم الحجازي نتيجة اختلاف نوع البكرات.

عند استخدام الوسائل التقليدية للحصاد، فإن معالجة التبن في الحقل تحتاج من ثلاثة إلى خمسة أيام اعتماداً على الأحوال الجوية. كما أن استخدام آلات تجهيز المحصول لتكسير السيقان، الشكل رقم (٨,٥) يُسرع من التجفيف ويقلل من زمن

المعالجة إلى مايتراوح بين يومين وأربعة أيام. كما قد يؤدي استعمال العناصر الكيميائية إلى الإسراع في تجفيف التبن المكسر وإلى اختصار زمن المعالجة بمقدار يوم آخر. ويؤدي رش المحاصيل المائية للبوتاسيوم أو كربونات الصوديوم على العلف إلى زيادة نفاذية سطح الطبقة الشمعية للنبات، مما يسمح بسرعة هروب الرطوبة(Rotz et al., 1990). ومن الطرق الحديثة، حيث يتم تفتيت البرسيم الحجازي وكبسه في صورة وسادة، فإن ذلك يسمح بمعالجة البرسيم الحجازي في زمن قصير يصل إلى ٤ ساعات (Rotz et al., 1990).

تم تطوير نموذج لتجفيف البرسيم الحجازي المصفوف بواسطة (Rotz and Chen, 1985) وقد تختلف دينامية التجفيف إذا تم تقليب الصف. وجد الباحثان أن هناك عاملين مناخيين يؤثران على عملية استنباط نموذج التجفيف للبرسيم الحجازي المصفوف. الأول الأشعة الشمسية التي توفر الطاقة اللازمة لتبخير الرطوبة، والثاني، النقص في الضغط البخاري يوفر فرقًا في الرطوبة يعمل على تحريك بخار الماء إلى خارج النباتات. وكان العاملان الأكثر أهمية في تحديد معدل التجفيف هما كثافة الصف ورطوبة التربة. وتوضح نظرية التجفيف أنه، عند اقتراب كثافة المادة من اللانهاية يقترب معدل التجفيف من الصفر. كما يتباطأ التجفيف عندما تحتفظ الرطوبة الأرضية بسطح رطب أسفل صف النباتات. ويكون المحتوى الرطوبي التعادلي أحد العوامل الهامة في نظرية التجفيف. إلا أن، يكون أفضل تعريف لنموذج (Chen and Rotz) لوصف التجفيف الفعلي عندما يفترض أن المحتوى الرطوبي التعادلي يساوي صفراً. وعلى ذلك فإن المعادلة التالية تعطي المحتوى الرطوبي عند أي زمن للتجفيف خلال ضوء النهار:

$$M_f = M_{fo}\, e^{-C_{dr}\, t} \qquad (٨,٤٣)$$

حيث:

M_f = نسبة الرطوبة على أساس جاف عند نهاية الزمن (t)

M_{fo} = نسبة الرطوبة على أساس جاف عند (t = 0)

t = فترة الجفاف، ساعة

C_{dr} = ثابت معدل التجفيف، ١/ ساعة.

وبناء على ٥٠٠٠ مشاهدة تجريبية على تجفيف البرسيم الحجازي، تم استنباط المعادلتين التجريبيتين التاليتين لتقدير ثابت معدل التجفيف:

$$C_{dr} = \frac{S_{rad}\ (1 + 9.30\ R_c) + 5.42\ \Theta_{db}}{66.4\ M_s + \rho_s\ (2.06 - 0.97\ \lambda_d)\ (1.55 + 2.19\ R_c) + 3037} \quad (٨,٤٤)$$

أو

$$C_{dr} = \frac{S_{rad}\ (1 + 9.30\ R_c) + 43.8\ p_{vd}}{61.4\ M_s + \rho_s\ (1.82 - 0.83\ \lambda_d)\ (1.68 + 24.8\ R_c) + 2767} \quad (٨,٤٥)$$

حيث:

S_{rad} = الإشعاع الشمسي، واط/ م^٢

R_c = معدل تطبيق العامل الكيميائي للتجفيف أوالتهيئة، جرام محلول/ جرام مادة جافة

M_s = نسبة رطوبة التربة، على أساس جاف، ٪

ρ_s = كثافة الصف، جم/ م^٢

λ_d = واحد في يوم القطع، والباقي صفر

Θ_{db} = درجة حرارة الترمومتر الجاف، °م

p_{vd} = الانخفاض في الضغط البخاري، كيلوبسكال.

تطبق المعادلات السابقة للتجفيف خلال ضوء النهار فقط، وتعمل إعادة ترطيب المادة بالأمطار أو الندى على إبطاء عملية التجفيف. وأعطت كل من المعادلتين تقديراً واقعيًا لمعدلات تجفيف البرسيم الحجازي خلال ضوء النهار في منطقة شرق لانسنج في ولاية متشجان وأيضًا في المناطق شبه الجافة بولاية كاليفورنيا، ولم تثبت صحة النماذج للمناطق الأخرى، وتتراوح القيمة النمطية لمعدلات الإشعاع الشمسي من صفر إلى ٩٥٠ واط/ م^٢. كما أنه من الأيسر أن تقاس درجة حرارة الترمومتر الجاف بدلاً من انخفاض ضغط البخار. وبذلك يفضل

استخدام المعادلة رقم (٨, ٤٤) للمناطق ذات الرطوبة النسبية المرتفعة نوعًا ما. وفي المناطق شديدة الجفاف، قد تعطي المعادلة رقم (٨, ٤٥) تقديرات أكثر واقعية لمعدل تجفيف البرسيم الحجازي. ويتواجد العامل (d) في النموذج لأن التجفيف يكون أسرع في نفس يوم القطع حيث لاتزال الرطوبة موزعة بانتظام خلال الصفوف. كما تجف قمة الصف أولاً ثم بعد ذلك يحدث نزع للرطوبة من قاع الصف بصورة أكثر بطئًا وتتراوح كثافة الصف من ١٥٠ إلى ١٥٠٠ جم/ م^{2}، وتكون القيمة النمطية ٤٥٠ جم/ م^{2}. يلاحظ أن النماذج لاتشير إلى أي تركيز للمادة الكيمائية في محلول التجفيف، حيث أوضحت التجارب أن الفاعلية تكون مستقلة تقريبًا عن تركيز المادة الكيميائية في المحلول ولكنها تكون مرتبطة جدًا بالمعدل الذي يتم تطبيق المحلول به إلى العلف. ويتراوح المعدل من صفر إلى ٢٥, ٠ جم من المحلول لكل جرام من المادة الجافة للعلف، ويكون المعدل النمطي في حدود ٠٧٥, ٠ جم/ جم. تتيح المعدلات الأعلى تغطية أكثر اكتمالاً لأسطح النباتات وبالتالي تسرع من عملية التجفيف. يوضح المثال رقم (٨, ٦) حسابات تجفيف البرسيم الحجازي.

مثال رقم (٨, ٦)

بلغت درجة حرارة الترمومتر الجاف في أحد الأيام ٢٠°م والإشعاع الشمسي ٦٥٠ واط/ م^{2}، ورطوبة التربة ١٨٪، وتم قطع برسيم حجازي رطوبته ٨٠٪ في منطقة رطبة. وبلغت كثافة البرسيم الحجازي في الصف ٤٥٠ جم/ م^{2}. إذا تم رش مادة كربونات البوتاسيوم كعامل تجفيف بمعدل ٠٧٥, ٠ جم/ جم. احسب نسبة الرطوبة للتبن بعد نهاية الساعة الأولى وبعد نهاية الساعة الثانية من بدء التجفيف.

الحل. تم قطع العلف في منطقة رطبة، وبناء على ذلك يحسب ثابت معدل التجفيف من المعادلة رقم (٨, ٤٤)، ويكون مساويًا:

$$C_{dr} = \frac{650\ (1 + 9.30 * 0.075) + (5.42 * 20)}{(66.4 * 18) + 450\ (2.06 - 0.97 * 1)\ (1.55 + 2.19 * 0.075) + 3037} = 0.234$$

ثم من المعادلة رقم (٨,٤٣)، تكون نسبة رطوبة المحصول بعد نهاية الساعة الأولى للتجفيف:

$$M_f = 80\ e^{-0.234}\ (1) = 63.3\ \%$$

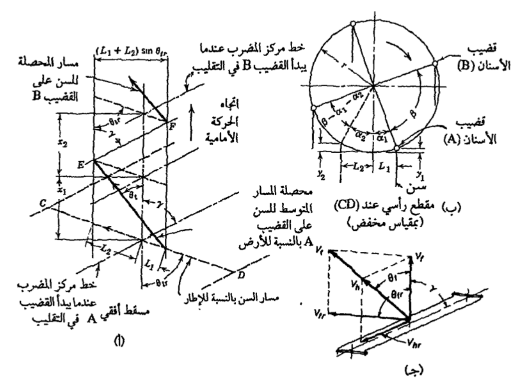
وبعد نهاية الساعة الثانية:

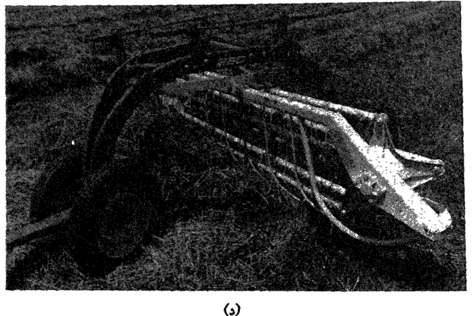
$$M_f = 63.3\ e^{-0.234}\ (1) = 50.1\ \%$$

وعلى ذلك يفقد العلف ١٦,٧ نقطة رطوبة في الساعة الأولى و ١٢,٦ نقطة في الساعة الثانية. وبما أن فقد الرطوبة خلال أي ساعة يتناسب مع الرطوبة الابتدائية للمحصول، يستمر انخفاض الرطوبة لكل ساعة بمعدل متناقص كلما استمر تجفيف العلف.

٨,٢,٤ التصفيف

يتم ترتيب العلف في بعض طرق حصاد العلف، في صفوف يمكن التقاطها مباشرة بالحاصدة. وهذه هي الطريقة الشائعة الاستخدام في حصاد العلف بغرض السيلاج أو عندما يكون الطقس شديد الجفاف. وعند الرغبة في عمل تبن جاف في أجواء رطبة، يتم وضع العلف في شرائط ثم يتم تقليبه لتكوين صفوف. وعندما يتم القطع والتصفيف في عمليتين منفصلتين، يمكن استخدام آلة تقليب أعلاف جانبية الطرد لتحريك الشرائط التي تم قطعها بالمحشة وتكوين صفوف. كما يمكن أيضًا استخدام آلات التقليب لعكس اتجاه الصفوف السابق تكوينها لتعزيز التجفيف السريع، وعلى وجه الخصوص بعد هطول الأمطار وترطيب الصفوف. ويتراوح الفقد في المادة الجافة في المعتاد من ٣ إلى ٦٪ وعادة يكون الفقد في الأوراق أكثر من السيقان. وعلى ذلك، يكون أحد الأهداف الهامة في تصميم آلة التقليب هو تداول المادة برفق. أكثر نوعين شائعين من آلات تقليب العلف جانبية الطرد هما آلة التقليب ذات رأس المضرب المائل وآلة التقليب ذات عجلة الأصابع.





(د)

شكل ٨,٣٣. آلة تقلب جانبية الطرد ذات رأس مضرب مائل.

(عن : Ford New Holland, Inc.)

يوضح الشكل رقم (٨,٣٣) آلة تقليب ذات قضبان متوازية (رأس مضرب مائل). يتوازى رأسا المضرب ولكن بزاوية حادة مع قضيب الأسنان. وبذلك، عند تشغيل أحد رأسي المضرب، سواء بقدرة عمود مأخذ القدرة أو عجلات الأرض، تسير أسنان التقليب في مسار دائري في مستوى مواز لرأس المضرب. وتحتفظ جميع الأسنان تلقائيًا بأوضاع متوازية، عادة يكون رأسيًا، ولكن يمكن تغيير خطوة السن بتغيير زاوية ميل محاور رأس المضرب. ويؤدي انحراف قاع السن إلى الأمام إلى تأثير أكثر قوة في تقليب المحاصيل الكثيفة.

استُخدم الشكل رقم (٨,٣٣) لاستنباط علاقات السرعة لآلة تقليب متوازية القضبان. حيث يتلامس سن التقليب مع التبن عند زاوية (α_1) من الوضع الأسفل للأسنان ثم يترك التبن عند زاوية (α_2) عند قمة صف التبن. وتتلامس الأسنان مع التبن خلال مسافة التحرك الأمامية (x_1) وينتهي التلامس أثناء الحركة الأمامية (x_2). يمكن استنتاج المعادلة التالية للمتغير(x_2) من الشكل رقم (٨,٣٣ب):

$$x_2 = (L_1 + L_2)\left(\cos\theta_{tr} + \frac{\sin\theta_{tr}}{\tan\gamma}\right) \quad (٨,٤٦)$$

كما يمكن استنتاج علاقة أخرى للمتغير (x_2) من الشكل رقم (٨,٣٣أ):

$$x_2 = r\,\frac{v_f}{v_p}\,(\beta - \alpha_1 - \alpha_2) \quad (٨,٤٧)$$

وحيث إن (($L_1 = r\sin(\alpha_1)$)) و(($L_2 = r\sin(\alpha_2)$))، فيمكن دمج المعادلتين رقمي (٨,٤٦) و (٨,٤٧) في المعادلة التالية:

$$\frac{\beta - \alpha_1 - \alpha_2}{\sin\alpha_1 + \sin\alpha_2} = \frac{v_p}{v_f}\left(\cos\theta_{tr} + \frac{\sin\theta_{tr}}{\tan\gamma}\right) \quad (٨,٤٨)$$

وتعتبر جميع المتغيرات في المعادلة رقم (٨,٤٧) من العوامل التصميمية ماعدا (α_1, α_2)، واللتان تعتبران مجهولتين وتعتمدان على ظروف التشغيل. من الشكل

رقم (٣٣ , ٨ب) :

$$\alpha_2 = \arccos\left(1 - \frac{y_2}{r}\right) \quad (٨ , ٤٩)$$

يمكن إيجاد المسافة (y_2) باعتبار أنها ارتفاع قمة الصف بالنسبة لأقل وضع لأسنان التقليب. وعلى ذلك يمكن حل المعادلة رقم (٤٩ , ٨) لإيجاد قيمة (α_2) ثم حل المعادلة رقم (٤٨ , ٨) على مراحل لإيجاد قيمة (α_1). لاحظ أن (α_1) قد تكون سالبة إذا بدأ المشوار الفعال للمقلب من خلف النقطة السفلية لتحرك الأسنان.

بمعلومية(α_1, α_2) ، يمكن حساب قيمة المتجه (v_{tr}) باستخدام المعادلة التالية:

$$\frac{v_{tr}}{v_p} = \frac{\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (٨ , ٥٠)$$

ويكون اتجاه (v_{tr}) موازيًا لمستوى رؤوس المضرب. وبعد تحديد قيمة (v_{tr})، يمكن حساب قيمة واتجاه (v_t) . كما يمكن حساب قيمة الزاوية (θ_t) من المعادلة:

$$\theta_t = \arctan \frac{v_{tr} \sin \theta_{tr}}{v_f + v_{tr} \cos \theta_{tr}} \quad (٨ , ٥١)$$

وبالتالي يمكن حساب قيمة (v_t) من المعادلة:

$$v_t = \frac{v_{tr} \sin \theta_{tr}}{\sin \theta_t} \quad (٨ , ٥٢)$$

ويتوافق اتجاه (v_h) مع (v_t) . وتحسب قيمة (v_h) باستخدام المعادلة التالية:

$$v_h = \frac{v_f}{\cos \theta_t + \sin \theta_t + \cot\text{an}\, \gamma} \quad (٨ , ٥٣)$$

وتعطى قيمة أقصى مسافة لتحرك التبن أثناء التقليب باستخدام المعادلة التالية:

$$L_h = \frac{w_r}{\sin \theta_t} \qquad (٨,٥٤)$$

تعرف الرموز في المعادلات من رقم (٨,٤٦) إلى رقم (٨,٥٤) كمايلي:

α_1 = زاوية قبل القاع والتي يبدأ عندها التقليب، ز، انظر الشكل رقم (٨,٣٣)

α_2 = الزاوية التي ينتهي عندها التقليب، ز

β = الزاوية بين قضبان الأسنان، ز

γ = الزاوية الحادة بين مقدمة التقليب واتجاه الحركة، ز

θ_{tr} = الزاوية بين اتجاه الحركة ومستويات رؤوس المضرب، ز

θ_t = الزاوية بين (v_t) واتجاه الحركة، ز

x_2 = الإزاحة الأفقية التي يتحركها السن بدون تقليب، م

y_2 = المسافة الرأسية بين أدنى وضع لسن التقليب وقمة الصف، م

L_1+L_2= المسافة الأفقية التي يتحركها السن أثناء التقليب، م

r = نصف قطر المضرب، م

v_f = السرعة الأمامية للمقلب، م/ث

v_{tr} = مُركبة سرعة المضرب = السرعة الأفقية المتوسطة للسن أثناء التقليب بالنسبة للمُقلب، م/ث

v_p = السرعة المحيطية للمضرب، م/ث

v_t = محصلة سرعة السن = مجموع المتجهات (v_f, v_{tr})، م/ث

v_{hr} = السرعة الأفقية المتوسطة للتبن بالنسبة للمقلب، م/ث

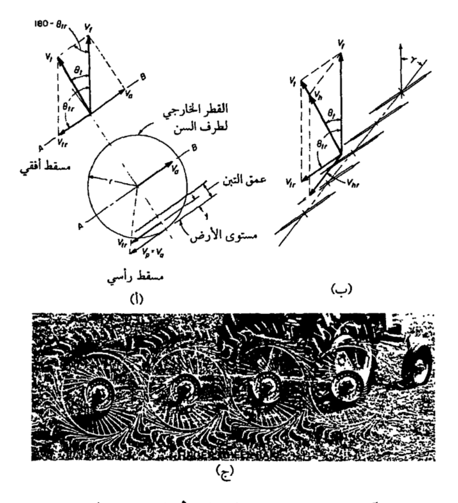
v_h = متوسط محصلة سرعة التبن = مجموع المتجهات (v_f, v_{hr})، م/ث

L_h = أقصى مسافة تحرك نظرية للتبن أثناء التقليب، م

w_r = عرض المقلب، م.

يوضح الشكل رقم (٨,٣٤) آلة تقليب جانبية بعجلة أصبعية. ويوضح الشكل رقم (٨,٣٤أ) فاعلية إحدى عجلات التقليب، بينما يوضح الشكل رقم

(٨,٣٤ب) علاقات السرعة لآلة التقليب بأكملها. يُحمل أصبع التقليب على عجلات لها مستوى توجيه يسمح لكل عجلة بأن تقاد بواسطة الأرض. وعلى ذلك، فلا يوجد احتياج لوجود جهاز منفصل لنقل الحركة. وكما هو صحيح لآلة التقليب ذات رأس المضرب المائل، فإن المتجه(v_{hr}) يكون موازيًا لمقدمة التقليب وتكون (v_{tr}) موازية لمستويات عجلات التقليب.



شكل ٨,٣٤. آلة تقليب جانبية بعجلة ذات أصابع. (عن: Deere and Co.)

وحيث تُدار كل عجلة من عجلات الأسنان بواسطة احتكاكها مع الأرض، فيمكن حساب قيمة (v_p) من المعادلة التالية، انظر الشكل رقم (٨,٣٤ب):

$$\frac{v_p}{v_f} = \cos(\pi - \theta_{tr}) = \cos\theta_{tr} \qquad (٨,٥٥)$$

وتكون مركبة المضرب (v_{tr}) أقل تناسبًا من (v_p) كما هو موضح من المعادلة التالية:

$$v_{tr} = \frac{r - y}{r} v_p \qquad (٨,٥٦)$$

حيث:

y = نصف ارتفاع الصف، م، انظر الشكل رقم (٨,٣٤أ)

r = نصف القطر من مركز عجلات الأسنان إلى أطراف الأسنان، م.

وتعطى الزاوية (θ_r)، محصلة مسار الأسنان والتبن، من المعادلة التالية:

$$\theta_r = \arctan\frac{v_{tr}\sin\theta_{tr}}{v_f} \qquad (٨,٥٧)$$

يمكن حساب قيمة كل من (v_t) و(v_h) باستخدام المعادلتين رقمي (٨,٥٢) و(٨,٥٣) على الترتيب. كما يمكن حساب أقصى طول نظري لتحرك التبن بواسطة آلة تقليب ذات عجلة أصبعية باستخدام المعادلة رقم (٨,٥٤).

يتأثر مقدار الرفق في تداول التبن أثناء التقليب بعوامل تصميم آلة التقليب. يشجع التعامل برفق باستخدام سرعة منخفضة للتبن (v_h)، وذلك بجعل السرعة (v_t) قريبة بقدر الإمكان من (v_h) وذلك لتقليل تأثير تصادم الأسنان بالتبن، وأيضًا بجعل تحرك التبن (L_h) بطيئًا بقدر الإمكان. وتكون النسبة (v_h/v_t) قريبة من الواحد الصحيح لآلة التقليب ذات العجلة الأصبعية، وبذلك توفر فاعلية رقيقة للتقليب مقارنة بآلة التقليب ذات القضبان المتوازية. إلا أنه، يكون لآلة التقليب ذات العجلة الأصبعية مسار أطول نوعا ما للتبن، ويتضح ذلك من مقارنة الشكلين رقمي (٨,٣٣) و(٨,٣٤أ). ففي الآلة ذات القضبان المتوازية، يؤدي تقليل النسبة (v_p/v_f) إلى إطالة مسار التبن، ولكن مع تقليل تكرار تصادم الأسنان بالتبن، وأيضًا لتقليل النسبة (v_t/v_h)

كما يؤدي تقليل قيمة (v_f) أيضًا إلى تداول أكثر رفقًا للتبن ولكن مع تخفيض سعة التقليب. تم بالطريقة التحليلية إيجاد التأثيرات النظرية لعوامل التقليب المختلفة، ولكن يوجد القليل من المعلومات المنشورة عن تأثير عوامل التقليب على الفواقد. ويوضح المثال رقم (٨,٧) حسابات آلة تقليب جانبية الطرد ذات رأس مضرب مائل.

مثال رقم (٨,٧)

آلة تقليب جانبية الطرد ذات خمسة قضبان متوازية ورأس مضرب مائل وزاوية مقدمة التقليب (($\gamma = 65°$ (6.81 rad))، وعرض التقليب ٤,٢ م. إذا كان نصف قطر المضرب ٠,٣ م وزاوية الرأس (($\theta_{tr} = 72°$ (7.54 rad)) يتم إدارة المضرب بواسطة الأرض بنسبة سرعات ($v_f / v_p = 0.8$). إذا تحركت الآلة بسرعة ٨ كم/ ساعة أثناء تقليب صف تبن ارتفاعه ٠,٤٥ م، فاحسب: (أ) اتجاه و(ب) قيمة محصلة مسار الأسنان، (جـ) السرعة المتوسطة للتبن، (د) أقصى مسافة نظرية يتحركها التبن أثناء التقليب، (و) النسبة (v_h / v_t)، السرعة المتوسطة للتبن إلى محصلة سرعة الأسنان.

الحل. (أ) يجب حساب الزاويتين (a_1, a_2) لبدء التحليل. وحيث إنه سوف تستخدم الزوايا ودوالها المثلثية، فسوف يستخدم التقدير الدائري بدلاً من الدرجات في جميع الحسابات المثلثية. ويمكن حساب قيمة الزاوية (α_2) من المعادلة رقم (٨,٤٨) كالتالي:

$$\alpha_2 = \arccos\,(1\text{-}0.45 / 0.3) = 2.09 \text{ rad}$$

وبذلك تكون جميع عناصر المعادلة رقم (٨,٤٨) معلومة ماعدا الزاوية (α_1). وبما أن المضرب يحتوي على خمسة قضبان، تكون($\beta = 2\pi/5 = 1.26$ rad) وبالتالي يكون:

$$\frac{1.26 - \alpha_1 - 2.09}{\sin \alpha_1 + \sin 2.09} = \frac{1}{0.8}\left[\cos 7.54 + \frac{\sin 7.54}{\tan 6.81}\right]$$

بحل المعـادلة السـابقـة على مـراحل نحـصل على ($\alpha_1 = 5.45$ rad). وتكـون السرعـة الأمامية لآلة التقليب ($v_f = 8/3.6 = 2.22$ m/s) والسرعـة المحيطية للمضرب ($v_p = 2.22/0.8 = 2.78$†m/s). ويمكن استخدام المعادلة رقم (٨, ٥٠) لحساب مركبة السرعة (v_{tr}) للمضرب:

$$v_{tr} = 2.78 \, [\sin(5.45) + \sin(2.09)] / [5.45 + 2.09] = 1.53 \text{ m/s}$$

وباستخدام المعادلة رقم (٨, ٥١) يمكن إيجاد اتجاه محصلة مسار الأسنان:

$$\theta_t = \arctan\,[1.53 \sin(7.54) / (2.22 + 1.53 \cos(7.54))] = 2.97 \text{ rad or } 28.4^\circ$$

(ب) من المعادلة رقم (٨, ٥٢)، تكون محصلة سرعة الأسنان:

$$v_t = 1.53 \sin(7.54) / \sin(2.97) = 3.06 \text{ m/s}$$

(جـ) من المعادلة رقم (٨, ٥٣) تكون السرعة المتوسطة للتبن:

$$v_h = 2.22 / [\cos(2.97) + \sin(2.97) + \text{cotan}(6.81)] = 1.22 \text{ m/s}$$

(د) ويمكن حساب أقصى طول لمسار التبن من المعادلة رقم (٨, ٥٤) كالتالي:

$$L_h = 2.4 / \sin(2.97) = 5.1 \text{ m}$$

(هـ) وأخيراً، تكون النسبة بين سرعة التبن وسرعة الأسنان:

$$v_h / v_t = 1.22 / 3.06 = 0.40$$

ونجد أن أقصى طول لمسار التبن يكون مساويًا لأكثر من ضعف عرض الصف وأن متوسط سرعة تحرك التبن تعادل ٤٠٪ من سرعة الأسنان. ويتصادم السن باستمرار أثناء تحريكه الصفوف وبالتالي قد تفقد أوراق البقوليات إذا كان التبن شديد الجفاف أثناء التقليب.

تكون متطلبات القدرة لآلة التقليب الجانبية صغيرة ولاتتوفر بيانات كثيرة عنها. ولقد اقترحت مواصفة الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم (Data D497) المعادلة التالية لآلة تقليب جانبية عرضها ٤٤ , ٢ م لتقدير متطلبات القدرة:

$$P_{rake} = - 0.186 + 0.052\ v_f \qquad (٨,٥٨)$$

حيث:

P_{rake} = القدرة المطلوبة للتقليب، كيلوواط

v_f = سرعة التقليب، م/ث.

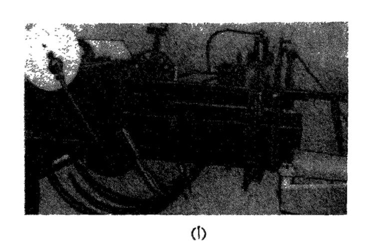
إن بيانات متطلبات القدرة لآلات الحش والتجهيز أو التصفيف غير متوفرة أيضًا. وتقترح المعلومات المحدودة المتاحة أن تكون متطلبات القدرة لآلة التصفيف التي تدار بعمود مأخذ القدرة ولها قضيب سكاكين للقطع، ومضرب وجهاز تهيئة من النوع التدويري في حدود ٣ , ٢ كيلوواط/ م من عرض الآلة (Rotz and Sprott, 1984).

٨,٢,٥ عمل البالات

يمكن حصاد التبن في صورة سائبة في أكوام أو في صورة تبن مفتت، إلا أن عمل البالات يعتبر من أكثر الطرق شيوعًا في حصاد التبن. أكثر آلات عمل البالات شيوعًا هي آلات عمل البالات المستطيلة، الشكل رقم (٨,٦) وآلات عمل البالات الأسطوانية، الشكل رقم (٨,٧). وعلى الرغم من أن المناقشات في هذا الفصل تتعلق بعمل بالات التبن، إلا أنه تستخدم نفس الآلات في عمل بالات السيقان وأي مواد ليفية أخرى.

آلات عمل البالات المستطيلة. يفترض فعليًا أن جميع آلات عمل البالات المستطيلة تحتوي على غرفة بالات يتم توجيهها في اتجاه تحرك الآلة. تقوم وحدة التقاط الصفوف بتغذية الصف إلى ناقل مستعرض يقوم بدوره بتغذية التبن إلى غرفة عمل البالة. يوجد ثلاثة أنواع من الناقلات المستعرضة. في النوع الأول، تقوم بريمة بنقل التبن إلى مجموعة من أصابع الكبس والتي تدفع التبن إلى غرفة البالة. في النوع الثاني، تتحرك أصابع الكبس حركة خطية بطول العرض الكلي لوحدة اللقط لنقل التبن إلى غرفة البالة. وفي النوع الثالث، توجد عجلة أصابع دائرية تحرك التبن جانبيًا إلى أصابع الكبس. و يتم تغذية غرفة البالة من أسفل وليس من الجانب كما هو موجود في أحد التصميمات. كما يتم تغذية المادة من وحدة اللقط إلى غرفة البالة بواسطة شوكة تغذية ذات تشغيل مرفقي. يسمح نظام التغذية من أسفل بتحرك آلة عمل البالات خلف الجرار مباشرة. وفي جميع تصميمات آلية التغذية يجب ضبط توقيت أصابع الكبس مع الحركة الترددية للكباس بحيث تظل الأصابع خارج غرفة البالة فيما عدا كون الكباس في الوضع الأمامي ($\theta_c = 90°$)، الشكل رقم (٨,٣٨).

بمجرد توصيل المغذي لدفعة من التبن، تعمل سكين موجودة على حافة الكباس وقضيب قص موجود في الحافة الخلفية لفتحة التغذية على قص شحنة التبن أثناء تحرك الكباس للخلف. ويؤدي استمرار حركة الكباس إلى ضغط شحنة التبن مع دفع الشحنات السابق ضغطها إلى غرفة البالة. ويتيح التحكم في غرفة عمل البالة، الشكل رقم (٨,٣٥أ) إلى مقاومة حركة البالة وبالتالي التحكم في كثافتها. تمتد خوابير ثابتة ومصدات (كلابات) محملة زنبركيًا إلى داخل غرفة البالة لتقليل تمدد التبن المكبوس أثناء الحركة الأمامية للكباس. وأثناء الكبس، توجد عجلة نجمية في قمة غرفة البالة [العجلة النجمية الموجودة في أقصى يسار الشكل رقم (٨,٣٥أ)] وتدار بواسطة البالة المتحركة لتشغيل آلية الربط عندما تتشكل البالة بطول كاف. وعند وصول الكباس إلى أقصى وضع خلفي بعد تشغيل آلية الربط، تتحرك إبر [يمكن رؤيتها أسفل الشكل رقم (٨,٣٥أ)] خلال فتحات موجودة في وجه الكباس لتوصيل حبل مجدول أو سلك إلى آلية عمل العقدة. وتنهي آلية عمل العقد إتمام العقد ثم ترجع الإبر إلى الخلف عند بدء حركة الكباس للأمام.



(أ)



(ب)

شكل ٨,٣٥. التحكم في كثافة البالة: (أ) هيدروليًا و (ب) بواسطة زنبركات قابلة للضبط يدويًا.

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978)

تتحدد كثافة التبن في البالة بنوع المادة المستخدمة، ونسبة الرطوبة بها، وبمقدار مقاومة التجميع المتاحة داخل غرفة البالة. ويتسبب التجميع في كبس التبن جانبيًا أثناء حركة البالة داخل الغرفة. وبافتراض أن التبن له سلوك المادة المرنة، فيمكن حساب قوة الكباس المتولدة من التجميع باستخدام المعادلة التالية:

$$F_c = \frac{E_h\, y}{d_c} L_c\, w_c\, f_h \quad (٨,٥٩)$$

حيث:

F_c = قوة ضغط متولدة من الكباس، نيوتن

E_h = معامل المرونة الفعال للتبن، ك. بسكال

L_c = طول مقطع التجميع، م

y = التجميع الكلي في مقطع التجميع، م

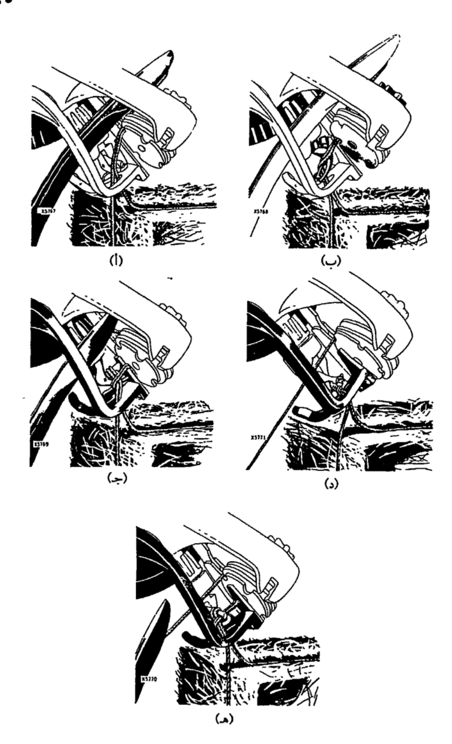
d_c = عمق غرفة البالة، م

w_c = عرض غرفة البالة، م

f_h = معامل الاحتكاك بين التبن وغرفة البالة.

وتعبر الكمية ($E_h y / 2 d_c$) عن مقدار الضغط الجانبي اللازم لكبس التبن مسافة مقدارها (y)، وتكون الكمية ($2 L_c w_c$) عبارة عن المساحة الكلية التي يؤثر عليها الضغط الجانبي بافتراض وجود جانبين فقط للتجميع. وبالضرب في معامل الاحتكاك نحصل على مقدار مايساهم به التجميع إلى قوة الكبس. وسوف يكون هناك احتكاك ضد الجوانب غير التجميعية. وإذا كان هناك أربعة جوانب تجميعية، فيكون التحكم في كل جانبي تجميع مستقلاً عن الآخر. وفي كلا الحالتين، يجب إضافة الاحتكاك على جميع الجوانب في حساب قيمة (F_c). من الصعب استخدام المعادلة رقم (٨, ٤٨) لحساب القوى الفعلية وذلك بسبب صعوبة إيجاد قيمة المعامل (E_h). ومع ذلك، تعطي هذه المعادلة تصوراً لمشاكل التحكم في كثافة البالة. وتتزايد قيمة كل من (E_h , f_h) بزيادة نسبة الرطوبة في التبن، مما يزيد من قوة الكباس وكثافة البالة. توفر زنبركات التحكم في الشد في الشكل رقم (٣٥, ٨ب) القوة الجانبية اللازمة لضغط البالات في منطقة التجميع. وتستخدم مرافق يدوية لضبط مقدار شد الزنبرك كما يجب أن يضبط الشد بحيث يتوافق مع التغيرات في الرطوبة ونوع المحصول. أثناء التشغيل، تتمدد الزنبركات عندما تزيد قيمة (E_h)، على الرغم من تناقص قيمة (y)، وتزداد القوة الجانبية. وتفضل الزنبركات ذات معدل صفر (بدون معدل) ويتم الوصول إلى التأثير المعادل باستخدام أسطوانة هيدرولية لتوفير قوة التجميع، الشكل رقم (٣٥, ٨أ) وبالإمكان ضبط الضغط الهيدرولي من كابينة السائق عند القيمة السابق تحديدها، وبالتالي توفير قوة ثابتة. وتستخدم إحدى الآلات الكبيرة لعمل البالات المستطيلة مجموعة من خلايا الحمل توضع في وجه الكباس لمراقبة قوة الكبس. وترسل الإشارات من خلايا الحمل إلى وحدة معالجة دقيقة. وتتحكم وحدة المعالجة في كثافة البالة بإرسال إشارات خاصة إلى صمامات هيدروكهربائية والتي تتحكم في ضغط زيت الأسطوانات الهيدرولية والتي بدورها تنظم التجميع في غرفة البالة. ويعمل نظام وحدة المعالجة على التأكد من تماثل، وثبات كثافة البالة عند تغير ظروف المحصول.

تتوفر مع آلات عمل البالات عقادة بسلك أو عقادة بخيط والنوع الثاني هو الأكثر شيوعاً. وتوفر المواصفتان القياسيتان للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين



شكل ٨,٣٦. كيفية عمل عاقد الخيط. (عن: Deere and Co.)

رقما (S229.6) و(S315.2) مواصفات البالات ذات السلك أو الخيط على الترتيب . ويبين الشكل رقم (٣٦,٨) آلية ربط البالة بالخيط . ولأكثر آلات عمل البالات شيوعًا ، يتم ربط كل بالة بلفتين من الخيط وبالتالي تتكون عقادتان في كل بالة . عند ربط البالة ، تمسك كل آلية لعمل العقادة بالطرف المقطوع من الخيط الخاص بها أثناء انكماش الإبر . وعند تقدم البالة التالية داخل الغرفة تدفع الخيط المجدول من حافتها المتقدمة ، ويسحب الخيط من بكرتيه إلى داخل ثقب الأبرة . وعند انطلاق آلية ربط البالة بواسطة العجلة النجمية من خلال حركة محدودة لقابض ذي سقاطة ، ترتفع الإبر خلال فتحات الكباس ، حاملة معها الخيط المجدول إلى آليات العقادة الخاصة . يوضح الشكل رقم (٣٦,٨) بداية دورة الربط . حيث وضعت الإبرة الخيط حول البالة وثبتته في حامل الخيط . ولقد دار القرصان الخارجيان للحامل خلال الزاوية بين الحزين المتقاربين بينما ظل القرص المركزي ثابتًا ، ومن ثم يدفع الخيط بين الأقواس المحملة زنبركيًا لتثبيته أثناء انسحاب الإبرة . وتبدأ مجموعة منقار العقادة في الشكل رقم (٣٦,٨ب) في الدوران لتكوين لفة من الخيط حول مناقير العقادة . استكملت اللفة في الشكل رقم (٣٦,٨جـ) ، حيث تفتح مناقير العقادة ، ومع استمرار الدوران تربط المناقير الخيط الممسوك بحامل الخيط . ومع إمساك المناقير للخيط ، يقطع السكين- الملحق بذراع النزع- الخيط بين آلية العقادة وحامل الخيط ، ومن ثم تطلق البالة المتكونة . في الشكل رقم (٣٦,٨د) تمسك المناقير بالخيط وتكون السكاكين قد أكملت القطع ، وفي الشكل رقم (٣٦,٨هـ) يكمل ذراع المسح العقدة وذلك بتحركه إلى الأمام لدفع العقدة من المناقير فوق الخيط الممسوك بحامل الخيط . لاحظ أنه في الشكل رقم (٣٦,٨د) أن حامل الخيط قد أمسك طرف الخيط للبالة التالية مع استمراره في الإمساك أثناء ربط البالة الحالية وتشكيل البالة التالية . ويتم ربط السلك المعدني حول البالة بطريقة مشابهة لما سبق شرحه ، فيما عدا أنه يتم ثني طرفي السلك ، وليس عقدهما . وعلى ذلك توجد في آلة عمل البالات ذات السلك المعدني آلية لثني السلك بدلاً من عقادة الخيط . وبسبب إجهاد الشد الكبير للأسلاك ، تكون كثافة البالات المربوطة بالسلك أكبر من تلك المربوطة بالخيط .

يتحدد معدل عمل البالات ، كجم/ث ، بالمعدل الذي يتم به تغذية العلف إلى

الآلة، وبتصميم الآلة أو القدرة المتاحة. وتربط المعادلة التالية بين المحددات السابق ذكرها:

$$\dot{m}_f = \frac{d_c \, w_c \, \delta_s \, \rho_c \, n_c}{60} \qquad (٨,٦٠)$$

حيث:

$\dot{m}_f$ = معدل عمل البالات أو معدل التغذية، كجم/ث

d_c = عمق غرفة البالة، م

w_c = عرض غرفة البالة، م

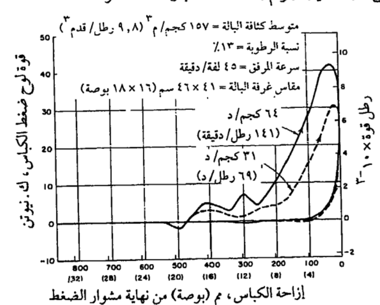
δ_c = سمك كل شريحة مكبوسة من العلف، م

ρ_c = كثافة التبن المضغوط، كجم/م^3

n_c = سرعة عمود المرفق، لفة/د.

المقاس الأكثر شيوعًا للغرفة هو ($d_c = 0.36$ m, $w_c = 0.46$ m). إلا أنه يوجد في الأسواق آلات أكبر ذات غرفة مقاسها ٢,١ × ٢,١ م كما يتوفر العديد من الآلات ذات مقاس متوسط. وتتراوح كثافة التبن في البالة، بما في ذلك الرطوبة أثناء عمل البالة، من ١٣٠ إلى ٢٢٥ كجم/م^3، ويعتبر المدى الصغير هو الأكثر شيوعًا. وتعمل السرعات البطيئة للمرفق على تحديد السعة وزيادة أحمال الإجهاد. أوضحت التجارب التي قام بها (Burroughs and Graham, 1954)، بمعلومية كل من معدل التغذية وكثافة البالة، أن أقصى قوة للكباس انخفضت بمقدار ٢٠٪ عند زيادة سرعة المرفق من ٤٠ إلى ٥٠ لفة/ د. إلا أنها انخفضت بمقدار قليل مع أي زيادة أخرى في السرعة. ويؤدي استعمال سرعات عالية إلى توليد قوى قصور ذاتي شديدة على الكباس الترددي مما يتسبب في فقد أكبر للتبن من غرفة البالة. تتراوح السرعات العالية للمرفق من ٤٥ لفة/ د للآلات الكبيرة إلى ١٠٠ لفة/ د للآلات الصغيرة. يتم قص التبن الداخل ومن ثم يتم كبس شحنة التبن في صورة قشيرة أو شريحة وذلك في كل مرة يتحرك فيها الكباس إلى الخلف. يتغير سمك القشيرة مع معدل تغذية

التبن الداخل إلى غرفة البالة. نمطيًا، يتراوح سمك القشيرة من صفر إلى ٢٠ سم. ومن المعادلة رقم (٨,٦٠)، ولآلة أبعاد غرفتها ٣٦×٤٦ سم، وسرعة مرفقها ٥٠ لفة/ د، وكثافة البالة ٢٢٥ كج/ م^{٣}، وسمك القشيرة ٢٠ سم، تكون سعة عمل البالات ٦,٢١ كجم/ ث أو ٢٢,٤ ميجاجرام/ ساعة. في اختبارات معهد (NIAE, 1965) لآلات عمل البالات ولغرفة بالات أبعادها ٣٦×٤٦ سم، تم تسجيل المعدلات حتى ٢٢ ميجاجرام/ ساعة ولفترات قصيرة من الوقت، وانخفضت المعدلات القصوى إلى ١٦,٣ ميجاجرام/ ساعة للاختبارات المستمرة.



شكل ٨,٣٧. منحنى تشغيل الكباس لمعدلي تغذية للبرسيم الحجازي.

(عن: Burrough and Graham, 1954)

يتغير عزم الدوران اللحظي تغيراً كبيراً في آلة عمل البالات، وتستخدم حذافة للمحافظة على سرعة مرفق ثابتة نسبيًا. يوضح الشكل رقم (٨,٣٧) منحنيين نمطيين للعلاقة بين القوة مقابل الإزاحة لكباس يعمل بمعدلين مختلفين للتغذية. يتشابه المنحنيان فيماعدا أن الكباس يبدأ مبكراً مع شحنات التبن الأكبر حيث تكون القوة القصوى أكبر. تمثل القوى الصغيرة بالقرب من إزاحة تتراوح بين ٣٠٠ إلى ٤٠٠ م قوى السكين اللازمة لقص شحنة التبن، لمعظم شحنات العلف، وتقع تلك القوى القاطعة عند النهاية وبالقرب من أقصى قيمة للقوة. وبعد بلوغ القوى أقصى قيمة لها

تبدأ في الانخفاض عند كبس التبن في المشاوير السابقة وهو يتحرك داخل الغرفة، ويحدث الانخفاض بسبب أن الاحتكاك الانزلاقي يكون أقل من الاحتكاك الاستاتيكي في الغرفة. ثم يتلاقى المنحينان عندما يبدأ الكباس في الحركة إلى الأمام. وتكون القوة أكبر من الصفر خلال الـ ١٠٠ م الأولى في مشوار العودة وذلك بسبب إعادة تمدد التبن المكبوس قليلاً. وفي أثناء إعادة التمدد، ترجع كمية صغيرة من طاقة الوضع الموجودة في التبن المكبوس إلى الكباس في صورة طاقة حركية. ويمكن تحويل منحنى القوة مقابل الإزاحة، الشكل رقم (٨,٣٧) إلى منحنى للعلاقة بين عزم الدوران والإزاحة الدائرية للمرفق. ولأي زاوية معطاة للمرفق (θ_c)، يمكن حساب إزاحة الكباس (x_p) باستخدام المعادلة التالية المأخوذة من نظرية المرفق المنزلق:

$$x_p = r_c\,(1 - \cos\theta_c) + L_{cr} - \sqrt{L_{cr}^2 - r_c^2\,\sin^2\,\theta_c} \qquad (٨,٦١)$$

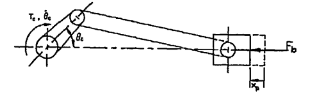
حيث:

x_p = إزاحة الكباس، م، انظر الشكل رقم (٨,٣٨)

r_c = نصف قطر المرفق، م

L_{cr} = طول ذراع التوصيل، م

θ_c = إزاحة ذراع المرفق، ز.



شكل ٨,٣٨. شكل تخطيطي لآلية المرفق المنزلق في آلة عمل البالات.

ولقيمة (x_p) المناظرة لكل قيمة من (θ_c)، يمكن استخدام منحنى القوة مقابل الإزاحة المشابه للموجود بالشكل رقم (٨,٣٧) في إيجاد القيمة المناظرة لقوة الكباس. وعلى ذلك يمكن الحصول على عزم الالتواء عند زاوية المرفق المعطاة من المعادلة التالية:

$$T_c = \frac{-\dot{x}_p}{\dot{\theta}_c} F_p \qquad (٨,٦٢)$$

حيث :

T_c = عزم الالتواء في ذراع المرفق، نيوتن.م

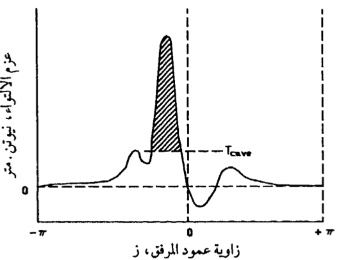
F_p = القوة على الكباس، نيوتن.

$$\frac{\dot{x}_p}{\dot{\theta}_c} = r_c \sin\theta_c + \frac{r_c \sin\theta_c \cos\theta_c}{\sqrt{\frac{L_\alpha^2}{r_c^2} - \sin^2\theta_c}} \qquad (٨,٦٣)$$

حيث :

$\dot{x}_p$ = سرعة الكباس، م/ث

$\dot{\theta}_p$ = سرعة المرفق، ز/ث.



شكل ٨,٣٩. عزم الالتواء اللحظي في ذراع المرفق.

الشكل رقم (٨,٣٩) عبارة عن توضيح لعزم الالتواء اللحظي للمرفق. وتمثل القوة الصغيرة على اليسار أقصى قوة للقطع. ويمكن إجراء التكامل العددي للبيانات التي تمثل عزم الالتواء اللحظي كدالة في زاوية المرفق للحصول على عزم الالتواء المتوسط. ويوضح الخط غير المستمر في الشكل قيمة عزم الالتواء المتوسط

الذي يجب توليده من المحرك. بينما تمثل المساحة المظللة كمية الطاقة التي يجب توليدها من الحذافة عندما يتجاوز عزم الالتواء اللحظي قيمة عزم الالتواء الخارج من المحرك. ويجب حساب مقاس الحذافة باستخدام المعادلة التالية:

$$I_f = \frac{\Delta E_k}{R_s \ \dot{\theta}^2_{cave}} \qquad (٨,٦٤)$$

حيث:

I_f = عزم القصور الذاتي الكتلي للحذافة، كجم.م^٢

$\dot{\theta}_{cave}$ = متوسط سرعة عمود المرفق، ز/ث = (أقصى سرعة - أقل سرعة)/ ٢

ΔE_k = طاقة الحركة المطلوبة من الحذافة، جول، انظر الشكل رقم (٨,٣٩)

R_s = تنظيم السرعة = (أقصى سرعة - أقل سرعة)/ متوسط السرعة.

يمكن حساب متوسط القدرة المطلوبة لتشغيل الكباس من حاصل ضرب متوسط عزم الالتواء في سرعة عمود المرفق. ويمكن إيضاح أن متوسط عزم الالتواءيتناسب مع المساحة الموجودة في منحنى القوة مقابل الإزاحة للكباس، الشكل رقم (٨,٣٧). لاحظ أن متوسط عزم الالتواء ومن ثم متوسط متطلبات القدرة يزيدان بزيادة معدل التغذية. كما تزيد أيضًا القدرة المطلوبة لوحدة اللقط، والنواقل والتجميع بزيادة معدل التغذية. انظر الشكل رقم (٨,٤٠). وعلى ذلك تأخذ معادلة متطلبات القدرة الشكل التالي:

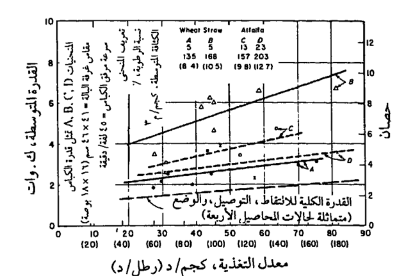
$$P_{baler} = C_0 + C_1 \ \dot{m}_f \qquad (٨,٦٥)$$

حيث:

P_{baler} = متطلبات القدرة الكلية لآلة عمل البالات، كيلوواط

$\dot{m}_f$ = معدل التغذية، كجم/ث

C_0 , C_1 = ثوابت تتغير مع تصميم الآلة، نوع ونسبة رطوبة المادة المطلوب تبييلها. وتكون الوحدات كيلوواط لـ (C) وكيلوواط ث/ كجم لـ (C_1).



شكل ٨,٤٠. العلاقة بين متوسط متطلبات القدرة ومعدل عمل البالة.

(عن: Graham, 1953)

يمكن إيجاد قيم الثوابت (C_0 , C_1) من اختبارات حقلية لآلات عمل البالات. من الشكل رقم (٨,٤٠)، على سبيل المثال، تكون قيم (C_0 , C_1) هي (١,١٧ ، ١,٧٥) ، (٣,٣٧ ، ٢,٨٤) ، (٢,٢٣ ، ١,٨٨) و(١,٢٣ ، ١,٩٧) للمنحنيات (A) ، (B) ، (C) ، (D) على الترتيب. حسابات سعة آلة عمل البالات والقدرة موضحة في المثال رقم (٨,٨).

مثال رقم (٨,٨)

آلة عمل بالات مستطيلة لها غرفة أبعاد مقطعها ٠,٣٦ × ٠,٤٦ م وتعمل على سرعة مرفق ٧٠ لفة/ د. ضُبط معدل التغذية بحيث يعطي سمك كل شريحة مكبوسة ٠,٢ م وكثافة الشريحة ١٨٠ كجم/ م^3. وكانت قيمة ثوابت القدرة (C_0) يساوي ١,٨٨ كيلوواط و (C_1) يساوي ٢,٢٣ كيلوواط. ث/ كجم. احسب: (أ) سعة الآلة، (ب) متطلبات القدرة.

الحل. (أ) من المعادلة رقم (٨,٦٠) ، تكون السعة مساوية:

$$\dot{m}_f = 0.36\ (0.46)\ (0.20)\ (180)\ (70)\ /\ 60 = 6.95\ \text{kg/s} \ \text{ or } \ 25\ \text{Mg/h}$$

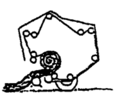
(ب) تتفاعل الآلة مع تغير معدلات التغذية وذلك بتغيير سمك الشريحة. على سبيل المثال، إذا زاد معدل التغذية نتيجة زيادة سرعة التحرك فوق الصف، يزداد سمك الشريحة تبعًا لذلك. وتكون متطلبات القدرة للآلة بأكملها:

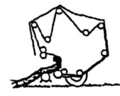
$$P_{baler} = 1.88 + 2.23\ (6.95) = 17.4\ kW$$

وتستخدم معظم القدرة في تشغيل الكباس.

آلات عمل البالات الأسطوانية. دخلت آلات عمل البالات الأسطوانية الكبيرة إلى الأسواق في عام ١٩٧١م، الشكل رقم (٨,٧). وتعطي مواصفة الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم (X 498) المصطلحات المتعلقة بآلات عمل البالات الأسطوانية. ولقد وظفت الطرز الأولى من تلك الآلات أساليب عديدة لتشكيل البالة، وتشمل استخدام غرف متغيرة الشكل الهندسي، الشكل رقم (٨,٤١)، وغرف ثابتة الشكل الهندسي، الشكل رقم (٨,٤٢)، وأيضًا غرف بدون أرضية (قاع) - غير مبينة- حيث يتم تشكيل البالة بتدويرها على الأرض. وتستخدم وحدات لقط مشابهة لتلك الموجودة في آلات عمل البالات المستطيلة ولكن بقطر أصغر لنقل الصف إلى داخل الآلة. وعندما يكون الصف أقل عرضًا من غرفة عمل البالة، يكون مطلوبًا من السائق عمل كمية محدودة من الحركة الزجزاجية لتوصيل التبن بالعرض الكلي لغرفة البالة.



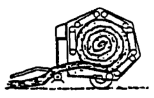
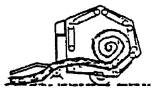
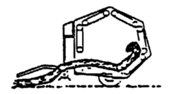




شكل ٨,٤١. آلة عمل بالات أسطوانية متغيرة الشكل الهندسي.

(عن: Prairie Agricultural Machinery Institute, Canada)

تعتبر الغرفة ذات الشكل الهندسي المتغير والموضحة في الشكل رقم (٨,٤١) من أكثر التصميمات استخدامًا، حيث تشكل البالة بكثافة منتظمة تقريبًا، بينما في

شكل ٨,٤٢. آلة عمل بالات أسطوانية ذات شكل هندسي ثابت.

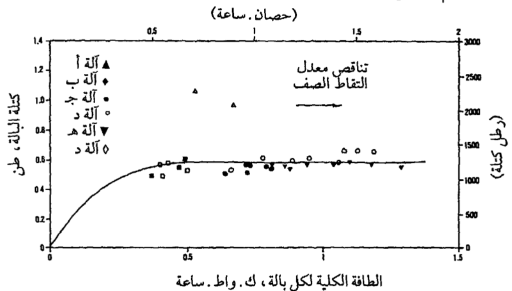
(عن : Prairie Agricultural Machinery Institute, Canada)

الأنواع الأخرى تكون البالات ذات كثافة أقل عند المركز (قلب البالة). وفي التصميم الموضح بالشكل رقم (٨,٤١)، تتشكل الغرفة من مجموعة من السيور المسطحة المتوازية. وفي المعتاد، يتراوح عرض كل سير من ١٠٠ إلى ١٥٠ م والمسافة بين السيور من ٥٠ إلى ١٠٠ م. تنكمش البكرات الموجودة على الأذرع الوسيطة المحملة زنبركيًا لتسمح بتوسيع الغرفة كلما زادت البالة حتى تصل لحجمها الكامل. ويجب توصيل القدرة إلى سيور غرفة البالة بحيث يعمل المحيط الخارجي للغرفة على تدوير التبن الداخل ويتسبب في تشكيلها في صورة أسطوانة محكمة. وتتراوح السرعات المحيطية النمطية للسيور والناقل الأرضي من ١,٣ إلى ٢,٨ م/ث. تعمل الغرفة على تشكيل بالة ذات مركز منخفض الكثافة. ومع زيادة الطبقات المضافة تزداد كثافة البالة ويتم التحكم فيها بواسطة شد السير. وعندما تصل البالة إلى القطر المطلوب، يوقف السائق الحركة الأمامية ثم يعشق آلية ربط الخيط مع استمرار البالة في الدوران. ويقوم دليل جانبي يعمل يدويًا أو آليًا بربط الخيط على مسافات تتراوح من ١٥٠ إلى ٢٠٠ م بين كل لفة على الوجه الخارجي للبالة. ولايتم عقد الخيط حيث يدخل طرفه إلى الغرفة، ثم يلتف حول البالة أثناء دورانها، ثم يقطع الخيط ويترك طرفه حرًا عند اكتمال تشكيل البالة. في آلات عمل البالات، توجد آلية مزدوجة للربط تسمح بربط طرفي البالة في نفس الوقت وذلك للإسراع بعملية الربط. وكبديل للربط بالحبال، يمكن تجهيز الآلة ببعض وسائل التغليف بكامل عرض البالة بواسطة شبكة بلاستيكية. ويحتاج الأمر إلى دوران البالة من ١,٥ إلى ٢ دورة للتغليف بالشبكة، مقارنة بعدد من ١٠ إلى ٢٠ دورة للربط بالحبال. وتعطي الشبكة تركيبًا أكثر انغلاقًا للشكل الخارجي للبالة، ومن ثم تقليل فقد الأوراق

وتحسين مقاومة الظروف الجوية مقارنة بربط البالة بالحبال. وعلى الرغم من أن الشبكة تكون أكثر تكلفة من الحبال، فإن تحسين الإنتاجية بالتغليف السريع، مقترنًا بتقليل الفواقد وتحسين مقاومة الظروف الجوية، تعمل جميعها على التقليل من أهمية التكلفة المرتفعة لاستخدام الشبكة. بعد إنهاء الربط، يرجع السائق بالآلة إلى الخلف مسافة ٦ أمتار ثم يرفع البوابة الخلفية لطرد البالة المكتملة إلى الأرض. ثم تتحرك الآلة إلى الأمام مسافة ٦ أمتار قبل خفض البوابة الخلفية وذلك للسماح للبوابة بطرد البالة تمامًا ثم تستأنف عملية عمل البالات. تتراوح الأبعاد النمطية لعرض البالة من ١,٢٢ إلى ١,٥٢ م وبقطر من ١,٢٢ إلى ١,٨٣ م. وتتراوح الكثافة المتوسطة من ١٠٠ إلى ٢٤٠ كجم/ م^{3}، مما يعطي وزنًا يتراوح من ٣٢٠ إلى ١٠٥٠ كجم للبالة الواحدة. وتتغير كثافة البالة بتغير شد السير أو الجنزير وأيضًا بتغير نسبة سرعة السير إلى الأرض. حيث تتسبب زيادة سرعة السير بالنسبة للأرض في دخول طبقة رقيقة من المادة إلى غرفة البالة وبالتالي إنتاج بالات أكثر كثافة. ويجب اتخاذ القرار المناسب عند طرد البالات على أرض منحدرة، حيث يمكن أن يؤدي طرد البالة أثناء التحرك على منحدر لأعلى أو لأسفل إلى تدحرج البالة إلى أسفل المنحدر مما يتسبب في إحداث تدمير شديد.

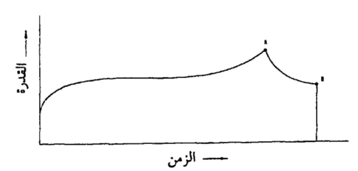
تقدر أقصى سعة لحظية للحصاد لآلة عمل البالات الأسطوانية الكبيرة بحاصل ضرب سعة الصف (كجم/ م) في السرعة الأمامية المسموح بها للآلة. وتحد عملية اللقط من السرعة الأمامية، حيث تصبح فواقد اللقط كبيرة عند السرعات العالية جداً، وعمومًا تتراوح السرعات الأمامية المتوسطة من ٥ إلى١٢ كم/ ساعة، إلا أنه شوهدت سرعات متوسطة حتى ١٩ كم/ ساعة. كما تقل السعة المتوسطة بمقدار الزمن المفقود في عملية الربط وطرد البالة. اعتماداً على سعة الصفوف، فإن تشكيل البالة قد يستغرق وقتًا يتراوح من ٢ إلى ١٥ دقيقة أو أكثر من ذلك. وتتطلّب عملية الربط والتفريغ زمنًا في حدود دقيقة واحدة مع آلة الربط بالخيط. وتراوحت المعدلات المتوسطة لعمل البالات والتي تم مشاهدتها، بما في ذلك دورة التفريغ من ١ إلى ١٢ ميجاجرام/ ساعة. وحيث إن متطلبات القدرة تبقى مرتفعة نسبيًا خلال عملية تشكيل البالة، فإن كمية الطاقة اللازمة لعمل بالة تتزايد بزيادة الزمن المطلوب

لتشكيل البـالة، الشكل رقـم (٨,٤٣). وعلى ذلك، لكي يتم توفـيـر الطاقـة، فـمن المفيد أن يتم تشكيل البالات بأقصى سرعة ممكنة.



شكل ٨,٤٣. منحنى الكتلة التـراكـمـيـة للبـالة مـقـابل القـدرة المطلوبة لتشكيلها. (عن: Freeland and Bledsoe, 1988)

تشمل متطلبات القدرة لتشغيل آلة عمل البالات الأسطوانية الكبيرة كلاً من قدرة عمود مأخذ القدرة لتشكيل وطرد البالات، وقدرة قضيب الشد لسحب الآلة. وتأخذ متطلبات عمود مأخذ القدرة خواص المنحنى الموجود في الشكل رقم (٨,٤٤)، حيث تمثل النقطة (A) نهاية دورة تشكيل البالة وتمثل النقطة (B) نهاية دورة الربط. تكون متطلبات عمود مأخذ القدرة عند إدارة الآلة وهي فارغة في حدود من ٢ إلى ٤ كيلوواط، إلا أنها تتزايد بزيادة تشكيل البالة كما هو موضح بالشكل رقم (٨,٤٤). ومع وجود بالة كاملة في الغرفة، تتراوح متطلبات القدرة لعمود مأخذ القدرة من ١٢ إلى ٥٥ كيلوواط اعتماداً على كثافة البالة وتصميم الآلة. وتعتمد متطلبات قدرة قضيب الشد كثيراً على حالة الحقل وأيضًا على حجم البالة. وفي الحقول المتماسكة والمستوية، تتراوح المتطلبات النمطية لقضيب الشد من ٢,٥ إلى ٥,١٠ كيلوواط ولكن قد تزيد المتطلبات بحوالي ٥٠ كيلوواط في الحقول خفيفة التربة أو المنحدرة.



شكل ٨,٤٤. منحنى خواص القدرة لآلة عمل بالات متغيرة الشكل الهندسي. (عن : Freeland and Bledsoe, 1988)

٨,٣ تقييم الأداء

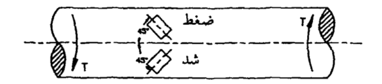
مع وجود أنواع عديدة من الآلات المستخدمة في حصاد التبن والعلف فقد تكون تقنيات تقييم الأداء مقصورة على آلة معينة. ولأي آلة، توجد بوجه عام ثلاث طرق للتقييم. وهي قياس السعة، ومتطلبات القدرة، ونوعية المنتج النهائي. وقد قام معهد البراري للآلات الزراعية (PAMI) في هامبولت، ساسكشوان بكندا بإجراء عدة اختبارات مستقلة للعديد من الآلات الزراعية تحت رعاية بعض المقاطعات الكندية. وتعتبر تقارير هذا المعهد من أفضل المصادر لبيانات الأداء لمعدات حصاد التبن والعلف التي اختبرها المعهد.

من الممكن أن تكون قياسات السعة على أساس المساحة المغطاة لوحدة الزمن (هـ/ ساعة) أو المادة المعالجة لوحدة الزمن (ميجاجرام/ ساعة). ويطلق على المساحة المغطاة لوحدة الزمن اسم السعة الحقلية وهي عبارة عن حاصل ضرب عرض التشغيل في سرعة الآلة. وحيث إنه من السهل قياس العرض والسرعة، فلا تعتبر السعة الحقلية من العمليات المعقدة في القياس. ولآلات مثل: المحشات، وآلات التقليب، وآلات الحش والتجهيز، أو التصفيف، حيث يحتاج العلف إلى أقل قدر من المعالجة، فإن سعة المادة المتداولة تكون غير ذات أهمية وبالتالي تقاس فقط السعة الحقلية. وعلى العكس من ذلك، تكون سعة المادة المتداولة ذات أهمية كبيرة جداً في آلات حصاد الأعلاف أو عمل البالات. إن سعة تداول المادة هي أقصى معدل تغذية يمكن أن يتلاءم مع الآلة بصورة مستمرة. ويكون معدل تغذية آلة حصاد العلف هو

حاصل ضرب الكتلة المعالجة لوحدة مسافة التحرك (على سبيل المثال كجم/ م) مضروبًا في السرعة الأمامية لآلة الحصاد. ويمكن قياس الكتلة لوحدة المسافة قبل دخول المادة إلى آلة الحصاد أو عند خروجها. وكما سبق توضيحه بالمعادلة رقم (٨, ٢٥)، تشتمل الطريقة السابقة على قياس إنتاجية المحصول والعرض الفعال الذي يعالج بواسطة آلة الحصاد. أما في الطريقة الأخيرة، يمكن تجميع المادة المفتتة في وعاء لمسافة تحرك معلومة ثم يتم وزنها. كما يمكن إيجاد معدل تغذية آلة عمل البالات بقياس متوسط الزمن اللازم لإنتاج البالة ثم وزن البالة لإيجاد كتلتها المتوسطة.

تشتمل متطلبات القدرة للآلة على قدرة دورانية منقولة خلال عمود مأخذ القدرة وقدرة قضيب الشد لدفع الآلة. والقدرة الدورانية تساوي حاصل ضرب سرعة العمود في عزم دورانه. ويمكن الحصول على قياس دقيق لسرعة العمود بتركيب لاقط مغناطيسي لعد مسار الأسنان الموجودة على ترس مثبت على العمود المطلوب قياسه. وتتوفر أجهزة تسجيل رقمية لتسجيل تردد مسار السن، والتي عن طريقها تحسب سرعة العمود. وتشتمل قياسات عزم الالتواء عمومًا على قياس الانحناء الموجود في طول محدد من العمود، وحيث إنه تم تصميم الأعمدة لتعمل في مدى مرونتها، فإن الانحناء يتناسب مع عزم الالتواء. ومن نظرية مقاومة المواد، يتسبب عزم التواء العمود في وجود انفعالات شد وضغط تظهر على سطح العمود، انظر الشكل رقم (٨, ٤٥). ويمكن تثبيت وحدات قياس الانفعال ذات المقاومة الكهربائية أو من أشباه الموصلات لتلك الانفعالات ومن ثم قياس عزم التواء العمود. ومع التثبيت المناسب لمحولات السرعة والعزم، يمكن قياس القدرة المطلوبة للمكونات المختلفة للآلة أثناء التشغيل. وعند قياس القدرة، فمن المهم قياس باقي المتغيرات في نفس الوقت والتي تؤثر على متطلبات القدرة. وحيث إن معدل التغذية يؤثر على متطلبات القدرة لآلات الحصاد وعمل بالات العلف، فيجب دائمًا قياس معدل التغذية وتسجيله مع قياسات القدرة. كما يجب أيضًا تسجيل نسبة رطوبة العلف. أخيراً، يجب تسجيل جميع قيم جميع عناصر الآلة ذات العلاقة. ففي حالة حاصدة الأعلاف، على سبيل المثال، تكون حالة سكاكين القطع ذات تأثير كبير على متطلبات القدرة لرأس القطع. وعادة تكون متطلبات قدرة قضيب الشد اللازمة لدفع

آلات التبن والعلف أقل كثيراً من قدرة عمود مأخذ القدرة ولا يتم تسجيلها في المعتاد. فإذا كانت هناك رغبة في تسجيل قدرة قضيب الشد، فيمكن إيجادها بقياس سرعة التحرك والقوة على قضيب الشد. وتتوفر وحدات استشعار السرعة (رادار) في صورة وحدة إضافية أو قياسية في العديد من الجرارات ويمكن استخدامها لإيجاد سرعة التحرك. وكما في حالة قياس عزم الالتواء، يمكن استخدام وحدات قياس الانفعال لتكوّن محولاً لقياس القوة على قضيب الشد، وتتوفر مثل تلك المحولات بشكل تجاري.



شكل ٨,٤٥. استخدام مقياس الانفعال لقياس عزم دوران العمود.

تتغير قياسات الجودة ذات العلاقة بتغير نوع الآلة. كمثال لذلك، يمكن قياس انتظام ارتفاع بقايا النباتات للمحشات ذات قضيب سكيني، حيث إن ارتفاع القطع من العوامل الهامة لحاصدات العلف. ومواصفة الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين (ASAE) رقم (S 424) وهي مواصفة تم تطويرها من قبل (ISO) كتقرير فني، توفر طرقًا لإيجاد مقاس أجزاء العلف المقطع والتعبير عنها، بينما تتعلق مواصفة (ISO) رقم (DP 8909-1) بطرق اختبار آلات حصاد العلف.

يعتبر فقد العلف من أهم العوامل لجميع الآلات. استخدم (Koegel et al., 1985) لفائف بلاستيكية لتقييم الفواقد. تم طي شرائح بلاستيكية عرضها ٣,٧ م وطولها ٣٠ م إلى طول وعرض يساوي ٢,٢ م ثم لفها في صورة بكرة. وتم تثبيت البكرة بآلة حش وتجهيز، وتم فك شرائح البلاستيك أثناء التشغيل حيث وضعت صفوف النباتات فوق البلاستيك بعد قطعها. استخدمت مقصات حاجزية لقطع الصف واستخدمت شوكة تفريغ (مذراة) لفصل أجزاء العلف بعناية. وتم تجميع المادة المتبقية على الأرض بعد رفع الصف ثم وزنها لتقدير فواقد آلة الحش والتجهيز.

بعد ذلك، تم سحب جزء البلاستيك السابق طيه من أسفل الصف ليصبح في أقصى عرض ٣,٧ م وذلك لتوفير فراغ كاف للتقليب فوق البلاستيك. مرة أخرى، استخدمت مقصات حاجزية للقطع وشوكة تفريغ لرفع أجزاء الصف. وتم تجميع البيانات المتبقية بعد رفع الصف ثم وزنها لإيجاد فواقد الحش والتجهيز والتقليب. أخيراً، استخدمت آلة عمل بالات لتبييل الصفوف الموجودة فوق البلاستيك. وحسبت المادة المتبقية على البلاستيك على أنها فواقد آلة عمل البالات. ولم تسمح هذه الطريقة بالتمييز بين فواقد اللقط وفواقد غرفة البالة الناتجة من الآلة. وتم إصلاح التلفيات البسيطة التي حدثت للبلاستيك أثناء التقليب وعمل البالة بشريط لحام. وقد تكون الطريقة التي استخدمها (Koegel et al., 1985) قد بالغت في تقدير الفواقد. ويمكن استخدام طريقة أخرى بدلاً من استخدام البلاستيك وذلك بالالتقاط اليدوي للفواقد من الأرض وذلك باستخدام إطارات خشبية صغيرة لأخذ عينات من مساحات تتراوح من ٠,٢٥ إلى ٠,٥ م^{٢}، ويتم وضعها في مساحات ممثلة للحقل.

يقاس طول القطع عادة عند تقييم آلات حصاد العلف. وحيث أن كمية العلف المفتتة في كيلوجرام واحد قد تحتوي على أكثر من ٥٠٠٠٠٠ قطعة تبن، فمن الضروري استخدام وسيلة آلية لتحليل الأطوال(O'Dogherty, 1982). وتعتبر طريقة الغربلةمن أكثر الطرق شيوعًا لتحليل الأطوال، حيث يتم إمرار العلف المفتت خلال مجموعة غرابيل ذات فتحات تقل تدريجيًا. ويحتوي غربالٌ معينٌ على مجموعة من الأطوال مرت من الغربال السابق ولكنها لاتمر من هذا الغربال، ويتم تحديد كتلة هذا الجزء عن طريق الوزن. ويجب أن تكون للغرابيل المقدرة على تصنيف الأجزاء الطويلة بالنسبة لأبعاد مقطعها العرضي، بمعنى أن تتراوح نسب الطول إلى القطر حتى ٥٠ : ١. ويتم هز الغرابيل لتسمح بحركة المادة. وذلك بالمحافظة على أفقية الغرابيل واستخدام هزاز أفقي، وبالتالي يقل احتمال توقف حركة العلف خلال الغرابيل.

تمارين على الفصل الثامن

٨ , ١ سكين لهـا زاوية انحـراف (ϕ_{rk}) = ٨٥° وزاوية خلوص ٢°. احـسـب: (أ) زاوية الميل (ϕ_{bk}) و(ب) زاوية قطع السكين (ϕ_{chk}).

٨ , ٢ تقـوم محشة دورانية بقطع النجيل بحيث تميل بزاوية ٣٠° على الرأسي في اتجاه حركة المحشة [الاتجاه (U) في الشكل رقم (٨ , ٢٤)]. احسب: (أ) زاوية الميل و(ب) زاوية إمالة النبات عندما تكون الزاوية(θ) مساوية للصفر، بمعنى، عندما يتحاذى السلاح مع اتجاه الحركة. ثم احسب (جـ) زاوية الميل و(د) زاوية إمالة النبات عندما يتعامد السلاح مع اتجاه الحركة. افترض أنه يمكن إهمال السرعة الأمامية للمحشة نظراً لصغرها مقارنة بالسرعة المحيطية للسلاح.

٨ , ٣ في الشكل رقم (٨ , ٨) كانت زاوية ميل السكين ٣٠° عندما كانت السرعة الأمامية للمحشة تساوي صفراً، لذا فإن السرعة (v_{kg}) تتزامن مع السرعة (v_{km}). عندما تصل السرعة الأمامية إلى ٢ , ٢ م/ث، فما هي سرعة السكين (v_{km})التي تكون عندها زاوية ميل السكين مساوية للصفر؟

٨ , ٤ في الشكل رقم (٨ , ٨) كانت زاوية ميل السكين ٣٠° عندما كانت السرعة الأمامية للمحشة تساوي صفراً، بحيث كانت (v_{kg}) تتزامن مع السرعة (v_{km}). (أ) إذا كانت حافة السكين ملساء وكان معامل احتكاك الحافة ٠,٣٠٦، فهل تنزلق المادة النباتية على طول الحافة عندما تتحرك السكين في اتجاه قضيب القص المعاكس؟ (ب) ما هو أقل معامل احتكاك للحافة الذي يمنع الانزلاق؟

٨ , ٥ افترض في الشكل رقم (٨ , ٨) أن الركن المتقدم من السكين قد وصل إلى اللوح المستعرض وكانت السرعة الأمامية للمحشة في الأساس تساوي صفراً. وكانت زاوية ميل السكين ٣٠°، بينما كانت زواية ميل اللوح المستعرض ٨ , ٤°. (أ) إذا كان كل من السكين واللوح المستعرض لهما حافة ملساء ذات معامل احتكاك ٠,٣٠٦ فهل زاوية الشبك (ϕ_{ci}) بالصغر الكافي لمنع المادة النباتية من الانزلاق إلى الأمام على طول الحافتين؟ (ب) كرِّر الجزء (أ)، فيما عدا أن اللوح المستعرض أصبح مشرشراً ومعامل احتكاك حافته ٠,٣٦٤ (جـ) كرِّر الجزء (أ)، بحيث يكون لكل من السكين واللوح المستعرض حواف مشرشرة ومعامل احتكاك ٠,٣٦٤ (د) افترض

أن السرعة الأمامية للمحشة أدت إلى تقليل زاوية كل من السكين وقضيب القص المعاكس بمقدار ١٠° وأن كلاً من الحافتين لهما نفس معامل الاحتكاك . ماهو أقل معامل احتكاك يعمل على منع الانزلاق .

٨,٦ افترض أن قطر ساق نبات البرسيم الحجازي ٣ م وإجهاد الشد الأقصى ٣٥ نيوتن/ م٢ ويتم قطعه على ارتفاع ٦٠ م فوق سطح الأرض ، بمعنى أنه، تقوم جذور النبات بتثبيت الساق في الأرض وتقوم السكين بتحميل الساق على شكل كابولي . (أ) ماهو مقدار أكبر قوة للسكين يجب أن تكون عليها لتحميل ألياف النبات إلى أقصى إجهاد؟ (ب) إذا كان معامل المرونة للساق ١٨٠٠ نيوتن/ م٢ ، فما هو أقصى إنحناء للساق عند بلوغ ألياف النبات أقصى إجهاد؟

٨,٧ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٨,٦) ولكن استخدم نبات قطن قطر ساقه ١٢ م ، أقصى إجهادات للألياف ٧٠ نيوتن/ م٢ ومعامل المرونة ٢٠٠٠ نيوتن/ م٢ .

٨,٨ استخدم المعادلتين رقمي (٨,١٠) و(٨,١١) لاستنباط منحنى لقوة السكين مقابل إزاحة السكين أثناء قطع العلف . إذا كان عرض السكين ١٠ م ، وزاوية الميل ٢٠° ، وزاوية الخلوص صفراً ، نصف قطر حافة السكين ٠,١٥ م ويحدث الاختراق المبدئي عندما تضغط حافة السكين على العلف بمقدار ٢٠ نيوتن/ م٢ . كما يكون مقدار العمق غير المضغوط من العلف ٩ م ، ومعامل الكتلة ١٠ نيوتن/ م٢ ومعامل الاحتكاك بين العلف والسكين ٠,٣ افترض أن قيم (٨) تساوي ٢ في المعادلة رقم (٨,١٠) . ارسم إزاحة السكين في الفترة من صفر إلى ٩ م .

٨,٩ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٨,٨) ، ولكن باستخدام نصف قطر حافة للسكين ١,٥ م ومعامل احتكاك ٠,٤ .

٨,١٠ آلة حصاد أعلاف ذات ثماني سكاكين في رأس القطع ، وتدور بسرعة ٩٠٠ لفة/ د . وكان عمق العلف عند التلامس الابتدائي للسكاكين يعادل ١٥٠م . إذا كانت أقصى قوة قطع هي ٨ كيلونيوتن/ م٢ ، باستخدام المعادلة رقم (٨,١٢) احسب القدرة المطلوبة للقطع .

٨,١١ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٨,١٠) ، ولكن بافتراض أن رأس القطع

يحتوي على أربعة سكاكين فقط.

١٢ , ٨ استخدم المعادلة رقم (١٦ , ٨) لدراسة تأثير قطر الساق على أقل سرعة نظرية مطلوبة للقطع التصادمي. افترض أن $(r_g = Zcg)$ وذلك لتبسيط المعادلة. واستخدم المعادلة رقم (٦ , ٨) لحساب مقاومة انحناء للساق المصمت (غير أجوف)، بافتراض أن الجذور تثبت الساق على هيئة كابولي ويصطدم الساق بالسكين على مسافة ١٠٠ م فوق سطح التربة وأن أقصى جهد انحناء للساق يعادل ٥٠ نيوتن/م٢ . استخدم أيضا المعادلتين رقمي (١٠ , ٨) و(١١ , ٨) لتقدير قوة السكين. ضع كلاً من عرض السكين، والعمق غير المضغوط من المادة والإزاحة الكلية للسكين مساوياً لقطر الساق، وافترض الآتي $(\lambda = 2, B_f = 10\ N/mm2, f = 0.25, \phi_{bk} = 20°)$ أيضًا، افترض أن نصف قطر حافة السكين ١ , ٠ م (سكين حادة) وأن الضغط الموجود أمام حافة السكين هو ٣٠ نيوتن/م٢ لبدء القطع. أخيراً، لاحظ أن الكتلة (m_p) سوف تتغير بتغير قطر الساق، بمعنى أنه، يجب أن تكون النباتات ذات الكتلة الأكثر ذات سيقان أكبر لتدعيم مقاومة النبات ضد أحمال الجاذبية والرياح. افترض أن $(m_p = 5 * 10^{-6} * d^4)$، حيث (d) هو قطر الساق بالملليمترات و (m_p) كتلة النبات بالكيلوجرامات. ارسم العلاقة بين السرعة المطلوبة (v_k) مقابل قطر الساق لأقطار تتراوح من ١ إلى ٢٥ م.

١٣ , ٨ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (١٢ , ٨)، ولكن باستخدام سكين غير حادة $(r_{ek} = 1\ mm)$.

١٤ , ٨ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (١٢ , ٨)، ولكن يتم القطع على مسافة ٢ م فوق سطح الأرض.

١٥ , ٨ بافتراض أن (γ) تساوي ٣ , ٠ بالتقدير الدائري لهزاز ذي مرفق فضائي، وأن السرعة المدخلة للمرفق ١٠٥ ز/ث، احسب وارسم قيمًا للإزاحة الدائرية للهزاز (Γ) ، السرعة والتسارع مع قيمة (θ) تتراوح من صفر إلى ٢ط، أي، لدورة واحدة كاملة.

١٦ , ٨ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (١٥ , ٨)، ولكن بافتراض أن (γ) تساوي ٥ , ٠ بالتقدير الدائري.

١٧ , ٨ (أ) فاضل المعادلة رقم(١٧,٨ب) لاستنباط علاقة تصف سرعة ذراع الهزاز.
(ب) ارسم العلاقة بين السرعة مقابل الزاوية المدخلة لدورة واحدة كاملة لكل من العلاقة المستنبطة والقيم الناتجة من المعادلة رقم (١٨ , ٨) باستخدام قيمة (γ)تساوي ٣٣ , ٠ بالتقدير الدائري.

١٨ , ٨ (أ) استنبط العلاقة الموضحة لسرعة السكين(v_{km}) ، بافتراض أن السكين تدار بواسطة هزاز ذي مرفق فضائي وله نصف قطر لذراع الهزاز (r_{oa}):

$$v_{km} = (r_{oa}\ \omega\ \tan\gamma\ \cos\theta) / (1 + \tan^2\gamma\ \sin^2\theta)^{1.5}$$

(ب) قارن بين المعادلة السابقة والمعادلة رقم (٢٠ , ٨) في هذا الفصل، والتي تمثل معادلة تقريبية لسرعة السكين. لاحظ أن، من المقارنة:

$$r_{oa} * \tan\gamma = \left(\frac{L_s}{2000}\right) \text{approximately}$$

(جـ) قارن أيضًا بين المعادلتين وذلك برسم العلاقة بين سرعة السكين وزاوية المرفق لدورة كاملة للمرفق. استخدم (γ) تساوي ٣ , ٠ بالتقدير الدائري في المنحنيين وضع ($L_s = 75$ mm). (د) إلى أي مدى من التقارب يتماثل المنحنيان الناتجان من كل من المعادلتين.

١٩ , ٨ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (١٨ , ٨) ولكن ضع (γ) تساوي ٥ , ٠ بالتقدير الدائري.

٢٠ , ٨ بافتراض أن حركة السكين الموجودة في الشكل رقم (١٩ , ٨) يتم التحكم فيها بواسطة المعادلة رقم (٢٠ , ٨). وأن طول المشوار ٢ , ٧٦ مم وتردد السكين ثابت وقيمته ١٠٥ ز/ث (١٠٠٠ لفة/د). لاحظ أن الزمن (t) في المعادلة رقم (٢٠ , ٨) (يقاس من منتصف مشوار السكين). يتحسن القطع بالمحافظة على سرعة عالية للسكين خلال منطقة القطع، بمعنى أنه، بدءاً من وصول الحافة المتقدمة للسكين إلى اللوح المستعرض وحتى تصل الحافة الخلفية إلى اللوح المستعرض. (أ) اكتب معادلة

لإزاحة السكين وذلك بإجراء التكامل للمعادلة رقم (٢٠ ,٨). واستخدم معادلة الإزاحة لإيجاد الزمن عند (ب) وصول الحافة المتقدمة للسكين إلى اللوح المستعرض (بداية القطع) و(جـ) وصول الحافة الخلفية للسكين إلى اللوح المستعرض (نهاية القطع). ثم بعد ذلك احسب سرعة السكين بالنسبة للوح المستعرض عند (د) بدء القطع و(هـ) نهاية القطع. (و) أخيراً احسب نسبة المشوار عندما يحدث أي من القطع السابق.

٢١ ,٨ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٢٠ ,٨)، ولكن بافتراض أن طول المشوار ٨٧ م (بمعنى أنه، يتحرك السكين إلى أبعد من مركز اللوح المستعرض في نهاية كل مشوار) وتردد السكين ٨٤ ز/ث.

٢٢ ,٨ احسب أقصى قوة قصور ذاتي للسكين للحالة الموجودة في التمرين رقم (٢٠ ,٨) إذا كانت كتلة السكين ٥ كجم. (للمساعدة: فاضل المعادلة رقم (٢٠ ,٨) لإيجاد معادلة لتسارع السكين).

٢٣ ,٨ احسب أقصى قوة قصور ذاتي للسكين للحالة الموجودة بالتمرين رقم (٢١ ,٨) إذا كانت كتلة السكين ٥ كجم. (للمساعدة: فاضل المعادلة رقم (٢٠ ,٨) لإيجاد معادلة لتسارع السكين).

٢٤ ,٨ استخدم البيانات الخاصة بـ(Elfes, 1954) والتي فيها متوسط القوة الكلية للسكين ٢ ,١ كيلونيوتن/ م من طول القضيب وعند تكرار للقطع يعادل ٩٤٢ دورة/ د وذلك لتقدير القدرة المطلوبة للقطع. افترض أن الشكل الهندسي القياسي للقطع مماثل للموجود في الشكل رقم (١٩ ,٨) وضع (X_{bu}) مساوية للطول الفعال للمشوار، بمعنى أنه، المسافة التي تتحركها السكين بدءاً من وصول الحافة المتقدمة والحافة الخلفية للسكين إلى اللوح المستعرض. (ب) باستخدام ماتوصل إليه (Elfes) بأن القطع يستخدم فقط ٣٠٪ من القدرة الكلية لعمود مأخذ القدرة، احسب القدرة الكلية المطلوبة لعمود مأخذ القدرة لكل متر من طول القضيب. (جـ) قارن الإجابة من الجزء (ب) بمواصفة الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم(Data 497)، والتي تقترح متطلبات قدرة لعمود مأخذ القدرة في حدود ٢ ,١ كيلوواط/ م لحش البرسيم الحجازي. (د) ماهي بعض العوامل التي يجب أخذها في الاعتبار للفروق

الموجودة بين إجابات الجزء (ب) والجزء (جـ)؟

٨ , ٢٥ كرِّر التمرين رقم (٨ , ٢٤)، ولكن باستخدام بيانات (Harbarge and Morr, 1962) والتي وجد فيها أن متوسط القوة الكلية للسكين ٣ , ٢ كيلونيوتن/ م من طول القضيب عندما كان تردد القطع ١٢٥٠ دورة/ د.

٨ , ٢٦ (أ) محشة مدراسية ذات أربعة صفوف من المدارس ولكن، وبسبب انحراف المدارس كما هو موضح في الشكل رقم (٨ , ٢١ب) فيوجد فقط صفان فعالان وذلك من وجهة نظر تماثل بقايا النباتات المقطوعة. احسب وارسم نسبة ارتفاع بقايا النباتات مقسومة على نصف قطر الدوار (z_d / r_f) مع نسبة السرعة (v_f / v_p) وذلك لنسب سرعات تتراوح من صفر إلى ١ , ٠. (ب) على نفس المنحنى، ارسم منحنى مماثل ولكن لدوار ذي ستة صفوف من المدارس المنحرفة. وإذا كان نصف قطر الدوار ٢٥٠ م، فما هي أقصى قيمة للمتغير (z_d) لكل من (جـ) الدوار ذي الأربعة صفوف و(د) ذي ستة صفوف؟ (هـ) هل يكون الدوار ذي الستة صفوف مطلوبًا للحصول على تماثل في بقايا النباتات؟

٨ , ٢٧ محشة مدراسية عرض الدوار بها ٢ م، تستخدم لحش البرسيم الحجازي والذي تبلغ إنتاجيته ٣ , ٢ ميجاجرام/ هـ. ارسم متطلبات قدرة المحشة مع سرعة التحرك في مدى سرعات يتراوح من صفر إلى ١٥كم/ س.

٨ , ٢٨ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٨ , ٢٧) ولكن لعرض دوار ٣ م.

٨ , ٢٩ يوضح الشكل رقم (٨ , ٢٤) مسارًا لسلاح محشة دورانية. إذا كانت السرعة الأمامية (v_f) تعادل ٤٪ من السرعة المحيطية للسلاح، اوجد أقصى زاوية لميل السكين وزاوية السلاح (θ)، التي تتكون عندها. (للمساعدة: من الممكن الحصول على الإجابة إما بإجراء تفاضل للمعادلة رقم (٨ , ٢٩) بالنسبة لـ(θ) أو برسم زاوية الميل مقابل (θ).

٨ , ٣٠ محشة دورانية ذات سلاح واحد طرفاه تاما الحدية كما هو موضح بالشكل رقم (٨ , ٢٤). إذا كان نصف قطر السلاح ٣٠٠م ويدور بسرعة ١٩٠٠ لفة/ د. (أ) ماهو أقل عرض للجزء الحاد من كل طرف للسلاح (L_s) إذا كانت السرعة الأمامية للمحشة يمكن أن تصل إلى ٤٪ من السرعة المحيطية للسلاح؟ (ب) احسب أقل ميل

لطرف السلاح يمنع سحب المحصول ضد نهاية السلاح .

٨,٣١ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٨,٣٠)، ولكن لنصف قطر سلاح ٢٥٠ م وسرعة ٢٢٠٠ لفة/ د .

٨,٣٢ (أ) قدِّر متطلبات القدرة لمحشة دورانية ذات أقراص تحتوي على ستة أقراص، عرض القطع لكل قرص ٤,٠ م. والأسلحة حادة، وكانت سرعة التحرك ١٥ كم/ س. (ب) احسب متطلبات القدرة لنفس المحشة بعد تآكل الأسلحة .

٨,٣٣ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٨,٣١) ولكن لمحشة دورانية ذات درفيل .

٨,٣٤ حاصدة أعلاف ذات رأس قطع أسطواني عرضه ٦٠٠ م وقطره ٧٠٠ م. تحتوي المحشة على ثماني سكاكين تدور بسرعة ٩٠٠ لفة/ د. وتقوم بقطع محصول الذرة بمعدل ٦٥ ميجاجرام/ س. أثناء إنتاجها لنباتات متوسط طول القطع لها ٥ م. يمكن تثبيت الطاقة النوعية للقطع عند ١٤ جول. م/ كجم عندما تكون السكاكين حادة. ويتلامس العلف المقطوع مع بيت القطع بمقدار قوس تلامس مقداره ٢,٣٦ ز، معامل الاحتكاك بين الذرة والبيت المصنوع من الصلب ٠,٤٩ . احسب: (أ) السرعة المحيطية المطلوبة لبكرات التغذية، (ب) أقصى ارتفاع لمساحة الزور إذا كانت الكثافة بين البكرات ٣٠٠ كجم/ م^3، احسب أيضًا متطلبات القدرة لكل من (جـ) التفتيت، (د) الاحتكاك، (هـ) الدفع (بافتراض أن السرعة المحيطية للدافع تساوي سرعة جهاز التفتيت)، (و) قدرة رأس القطع بفرض أن (C_{h0}) تساوي ٠,٦ كيلوواط وأن (C_{h1}) تساوي ٠,٣ كيلوواط ث/ كجم، (ز) متطلبات القدرة الكلية. (ح) وللمقارنة، احسب متطلبات القدرة الكلية مستخدمًا المعادلة رقم (٨,٣٩). (ط) ماهو معدل القطع الذي يجعل إجابة الجزء (ز) والجزء (ح) متوافقتين.

٨,٣٥ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٨,٣٤)، ولكن باستخدام أربع سكاكين فقط. احسب أيضًا الطول الجديد للقطع عند استخدام أربع سكاكين.

٨,٣٦ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٨,٣٤)، ولكن باستخدام سكاكين غير حادة مما تسبب في زيادة الطاقة النسبية للقطع إلى حوالي ٢٨ جول. م/ كجم.

٨,٣٧ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٨,٣٤)، ولكن عند حصاد البرسيم الحجازي بمعدل ٥٠ ميجاجرام/ س، وطول القطع ١٠ م، والكثافة عند الزور ٥٥

كجم/ م٣ والطاقة النسبية للقطع ١٦ جول . م/ كجم .

٨,٣٨ يتم قطع البرسيم الحجازي في أحد الأيام عند نسبة رطوبة ٨٠٪ وكانت درجة حرارة الترمومتر الجاف ٣٠° م والإشعاع الشمسي ٧٠٠ واط/ م^{2} ، رطوبة التربة ١٧٪ . وكانت كثافة البرسيم الحجازي في الصف ٤٥٠ جم/ م^{2} . (أ) بافتراض أن العلف يقطع في منطقة رطبة ، وبذلك يمكن تطبيق المعادلة رقم (٨,٤١)، ارسم العلاقة بين المحتوى الرطوبي للعلف مع الزمن لمدة ثماني ساعات تجفيف في اليوم نفسه الذي تم قطع العلف فيه . افترض عدم استخدام وسط للتجفيف . (ب) أضف منحنى آخر إلى الشكل السابق ، ولكن عند استخدام وسط تجفيف بمعدل ٠,٠٨ جم/ جم .

٨,٣٩ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٨,٣٨)، ولكن عندما تكون درجة الحرارة ٢٠° م فقط والإشعاع الشمسي ٣٥٠ واط/ م^{2} ، أي أنه يوم غير مناسب للتجفيف .

٨,٤٠ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٨,٣٨) ، ولكن باستخدام المعادلة رقم (٨,٤٥) مع فروق في الضغط البخاري تعادل ٢,٥ كيلوبسكال .

٨,٤١ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٨,٣٨)، ولكن عند تخفيض كثافة الصف بمقدار ٢٠٪ .

٨,٤٢ آلة تقليب علف جانبية ذات خمسة قضبان مركبة على رأس المضرب المائل ولها المواصفات التالية :

عرض التقليب = ٢,٥٩ م
نصف قطر المضرب = ٠,٣ م
θ_{tr} = ٧٢°
γ = ٦٥°

يقاد المضرب بواسطة الأرض بحيث تكون (v_f / v_p) تساوي ٠,٨٢ بافتراض أن (y_2) تساوي ٠,٢ م ، احسب وارسم (أ) (v_h / v_f) و (ب) (L_h/w_r) لمدى سرعة تحرك يتراوح من ٣ إلى ١١ كم/ س .

٨,٤٣ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٨,٤٢)، ولكن إذا كانت الآلة تدار بواسطة عمود مأخذ القدرة عندما تكون (v_p) تساوي ٢ م/ ث .

٨,٤٤ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٨,٤٢)، ولكن آلة التقليب من النوع ذي العجلة الأصبعية وله المواصفات التالية:

عرض التقليب = ٣,٢ م

نصف قطر المضرب = ٠,٧٤ م

θ_{tr} = ١٣٠°

٨,٤٥ (أ) احسب قيمة المتغير (E_h) باستخدام المعادلة رقم (٨,٥٩)، وباستخدام بيانات من الشكل رقم (٨,٣٧)، وافترض البيانات التالية:

d_c = ٠,٤٦ م ، من الشكل رقم (٨,٣٧)

w_c = ٠,٤١ م ، من الشكل رقم (٨,٣٧)

F_p = ٤٢ كيلونيوتن ، من الشكل رقم (٨,٣٧)

L_c = ٠,٧٠م ، مفترضة

y = ٧٥ مم ، مفترضة

f_h = ٠,٢٥ ، مفترضة

اختيرت القيم المفترضة لتكون قيمًا واقعية لآلة عمل البالات المستخدمة للتعبير عن الشكل رقم (٨,٣٧). (ب) لكي توفر قواعد لتقييم قيمة (E_h) الناتجة، أوضح (Persson, 1987) أن قيمة في حدود ٣٥ ميجابسكال هي الحد الفاصل والذي لايمكن بعده كبس التبن ذي المحتوى الرطوبي ٢٠٪. وعندما يكون المحتوى الرطوبي للتبن ٧٠٪ يصل الحد إلى ٥ ميجابسكال. وحيث إنه يتم كبس التبن في الآلة الموجودة بالشكل رقم (٨,٣٧)، فإن قيمة (E_h) يجب أن تكون أقل من قيمة الحدود المشابهة.

٨,٤٦ ضع صورة عامة للشكل رقم (٨,٣٧) وذلك برسم ضغط كبس الكباس على محور (y) مقابل نسبة مشوار الكباس على محور (x). ويكون ضغط الكباس عبارة عن قوة الكباس مقسومة على مساحة مقطعه. (أعطيت أبعاد مساحة مقطع غرفة البالة في الشكل رقم (٨,٣٧)). بينما تكون نسبة المشوار عبارة عن الإزاحة الفعلية للكباس مقسومة على أقصى إزاحة (٥٤٧ مم في الشكل رقم (٨,٣٧)). (ب) تأكد من وضع منحنى لكل واحد من معدلي التغذية الموجودين بالشكل رقم

(٨,٣٧) ثم ضع التصور العام باستخدام بيانات من هذا الشكل ومن المعادلة رقم (٨,٦٠) لحساب سمك الشريحة(δ_s) المرتبطة بكل معدل تغذية.

٨,٤٧ (أ) احسب وارسم منحنى للعلاقة بين الإزاحة مقابل عزم الالتواء مشابهة للشكل رقم (٨,٣٩) لآلة عمل بالات لتبن البرسيم الحجازي عند محتوى رطوبي ١٣٪ ومتوسط كثافة البالة ١٥٧ كجم/ م^3. وغرفة البالات ذات أبعاد ٠,٣٦ م للعرض و ٠,٤٦ م للارتفاع، ونصف قطر المرفق ٠,٣٨ م، وطول ذراع التوصيل ١,١٢ م وسرعة المرفق ٧٩ لفة/ د. لاحظ أنه يمكن استخدام المعادلة رقم (٨,٦١) لحساب إزاحة الكباس، لكل زاوية للمرفق خلال الدورة الكاملة. ولكل إزاحة للكباس، استخدم المنحنى الذي تم عمله في التمرين رقم (٨,٤٦) (مع أقصى سمك للشريحة) لإيجاد قيمة الضغط الواقع على وجه الكباس ومن ثم تحسب قوة الكباس. وبالتالي يمكن استخدام المعادلتين رقمي (٨,٦٢) و(٨,٦٣) لحساب عزم الالتواء عند كل زاوية للكباس. (ب) كامل منحنى الإزاحة مقابل عزم الالتواء الناتج من الجزء (أ) لإيجاد متوسط عزم الالتواء للدورة الواحدة. (جـ) احسب عزم القصور المطلوب للحذافة مع إتاحة نسبة ١٠٪ تنظيم سرعة، بمعنى (R_s) تساوي ٠,٢. (د) احسب القدرة المطلوبة لتشغيل الكباس.

٨,٤٨ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٨,٤٢)، ولكن استخدم الحد الأدنى لسمك الشريحة في التمرين رقم (٨,٤٥ب).

٨,٤٩ آلة عمل بالات أسطوانية كبيرة تقوم بعمل بالات برسيم حجازي عرضها ١,٥ م، وقطرها ١,٧٥ م، متوسط كثافتها ٢٠٠ كجم/ م^3. سرعة الآلة أثناء تشكيل البالة ٨ كم/ س ويحتوي الصف على ٠,٩ كجم من العلف لكل متر طولي. السرعة المحيطية لسيور الغرفة ٢,٧٥ م/ ث. وكانت قدرة عمود مأخذ القدرة ٣ كيلوواط عند سير الآلة فارغة، و ٣٠ كيلوواط عند بلوغ البالة حجمها النهائي. احسب: (أ) الزمن اللازم لتشكيل بالة كاملة، (ب) كتلة البالة الكاملة، (جـ) السرعة الدورانية للبالة داخل الغرفة عند حجمها النهائي، (د) عزم الالتواء، (هـ) القوة المحيطية التي يجب توفرها بواسطة السيور لتدوير البالة الكاملة، (و) عدد الدورانات المطلوبة للبالة كي يتم ربطها بخيط على مسافات كل ١٥٠ م من العرض

الكلي للبالة، (ز) الزمن اللازم لربط الخيط، (ح) احسب الزمن الذي يتم توفيره لكل بالة إذا تم ربطها بعدد ٥ , ١ لفة من الشبك بدلاً من الخيط.

٥٠ , ٨ بالمثل كما جاء في التمرين رقم (٤٩ , ٨) فيما عدا أن السرعة المحيطية لسيور غرفة البالة ٥ , ١ م/ث.

الفصل التاسع

حصاد الحبوب

Grain Harvesting

مقدمة

إن الغرض من حصاد الحبوب هو جمعها من الحقل وفصلها عن باقي أجزاء النبات في توقيت مناسب وبأقل كمية فقد في الحبوب مع المحافظة على جودة عالية لها. وتعتمد الطرق والمعدات المستخدمة في حصاد الحبوب على نوع الحبوب، وطريقة الزراعة، والظروف الجوية. و أهم محاصيل الحبوب التي تحصد هي: الشعير، والبقوليات الصالحة للاستهلاك الآدمي، وفول الصويا، والذرة، والشوفان، والأرز، الذرة الرفيعة والقمح. كما يمكن أيضًا حصاد محاصيل الحبوب الأخرى مثل محاصيل الحبوب الزيتية بنفس المعدات المستخدمة في هذا الفصل.

٩,١ الطرق والمعدات

يعتبر استخدام المناجل اليدوية واحدة من أقدم الطرق المستخدمة في حصاد الحبوب وجمعها في صورة حزم (أكوام)، ثم ينقل المحصول المقطوع إلى موقع رئيس ليتم دراسه، ثم فصل الحبوب عن باقي أجزاء النبات. وتتطلّب جميع العمليات السابقة قدرة يدوية وحيوانية. ومع التطور التكنولوجي، أجريت جميع العمليات السابقة باستخدام الآلات. ومع ذلك، فمازال العديد من مناطق العالم تجري عملية الحصاد إما بالعمال أو القدرة الحيوانية.



شكل١ ,٩. آلة حصاد ودراس حديثة. (عن : Ford/New Holland)

يمكن تقسيم عملية الحصاد إلى العمليات التالية: القطع، والدراس، والفصل، والتنظيف. واعتماداً على الطريقة المستخدمة في الحصاد، يمكن إجراء العمليات السابقة باستخدام آلات مختلفة أو يمكن دمجها في آلة واحدة. وسوف تتم مناقشة الطرق الشائعة بالمزارع الحديثة كاملة المكننة في الأجزاء التالية.

١ ,١ ,٩ الحصاد المباشر

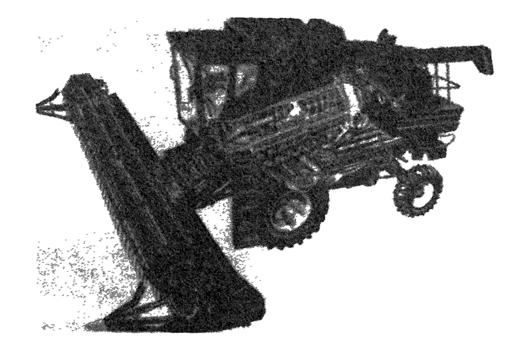
في طريقة الحصاد المباشر، تتم جميع الوظائف ـ بدءاً من القطع وحتى التنظيف ـ بواسطة آلة واحدة هي آلة الحصاد والدراس المركبة (جامعة الحبوب)، ويوضح الشكل رقم (١ , ٩) آلة حصاد ودراس حديثة. ويمكن حصاد جميع المحاصيل السابق ذكرها بالحصاد المباشر. ويمكن أن تكون آلة الحصاد من النوع التقليدي أو الدوراني اعتماداً على آلية الدراس وآلية الفصل المتبعة. كما يمكن أن تكون آلة الحصاد من النوع ذاتي الحركة أو من النوع المقطور بواسطة الجرار وتأخذ حركتها من عمود مأخذ القدرة كما هو موضح في الشكل رقم (٢ , ٩).



شكل ٩,٢. آلة حصاد ودراس نمطية من النوع المقطور بواسطة جرار.

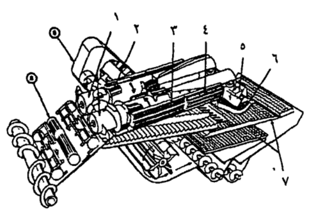
(عن: Deere and Co. ©1991)

يوضح الشكل رقم (٩,٣) رسمًا تخطيطيًا لآلة حصاد تقليدية مبينًا عليه المكونات الوظيفية للآلة. وأثناء عمل الآلة، يتم دفع المحصول القائم في الحقل بواسطة المضرب باتجاه قضيب القطع الموجود بمقدمة الآلة. ويتم نقل المحصول بعد قطعه إلى منتصف المقدمة من كلا الجانبين بواسطة بريمة، ثم ينقل إلى أسطوانة (درفيل) الدراس بواسطة سير رافع. حيث يتم دراس المحصول بواسطة درفيل الدراس. ويدور الدرفيل بسرعة عالية جدًا (حوالي ٣٠ م/ ث سرعة محيطية). وتمر نسبة كبيرة (عادة حوالي ٨٠٪) من الحبوب المدروسة خلال الصدر والجرائد (الحاجز الشبكي) إضافة إلى العصافات والأجزاء المكسورة من السيقان. ويُجبر باقي المحصول على المرور خلال الفراغ الموجود بين الأسطوانة والصدر حيث يعمل المضرب الموجود على تقليل سرعة المحصول. ويتم توصيل المحصول المكون من السيقان (التبن) وبعض العصافات والحبوب إلى جهاز الفصل. الذي يتكون في آلة الحصاد التقليدية من مجموعة من القنوات على شكل حرف (U) تتحرك حركة ترددية، يطلق عليها اسم الرداخات. ومنذ بداية السبعينات تم تغيير تصميم جهاز الفصل ليصبح تصميمًا دورانيًا. وسوف نناقش هذه التصميمات في نهاية هذا الفصل. وتتساقط المادة المفصولة على الرداخات وتتحرك باتجاه مقدمة الآلة حيث تسقط فوق لوح الحبوب الذي يتحرك ترددياً ومن ثم تتجمع مع مخلوط الحبوب والعصافات النازل من الأسطوانة والصدر والذي تم فصله سابقًا. ويتحرك مخلوط



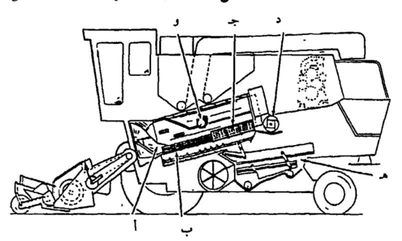
شكل ٩,٣. التركيب الداخلي لآلة حديثة ذاتية الحركة لحصاد ودراس الحبوب. (عن: Case-IH Co.)

الحبوب والعصافات للخلف نتيجة الحركة الاهتزازية للوح الحبوب، ثم تتساقط فوق حذاء التنظيف. ويتكون حذاء التنظيف عادة من غربالين ومروحة تدفع الهواء لأعلى خلال قاع الغرابيل باتجاه مؤخرة الآلة. ويصمم الغربال العلوي بحيث يمكن ضبط فتحاته ويطلق عليه اسم غربال العصافات (القش). ثم يدفع الهواء القش والعصافات باتجاه مؤخرة الآلة في حين أن الحبوب النظيفة تسقط من خلال الغرابيل إلى قاع حذاء (خزان) التنظيف. وتحمل بريمة الحبوب النظيفة الحبوب إلى خزان الحبوب. يطلق على السنابل غير المدروسة التي لا يستطيع الهواء نفخها مع القش (لكبرها) والتي لا تستطيع أيضًا المرور خلال فتحات الغرابيل اسم المتبقيات (الرجيع) ويتم جمعها بواسطة بريمة الرجيع وترفع إلى درفيل الدراس لإعادة دراسها. ويوجد العديد من التصميمات للعديد من صانعي الآلات للمكونات الأساسية لآلة الحصاد والدراس كما هو موضح في الشكل رقم (٩,٣).



شكل ٩,٤. آلة حصاد ودراس دورانية تستخدم دوارين ١- الدرفيل؛ ٢- جرائد مسننة؛ ٣- صدر الدراس؛ ٤- صدر الفصل؛ ٥- مضرب الطرد؛ ٦- بوابة المضرب؛ ٧- حذاء التنظيف.

(عن: Prairie Agricultural Machinery Institute, Canada)

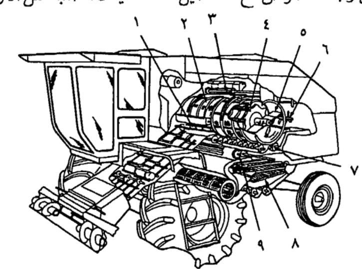


شكل ٩,٥. آلة حصاد ودراس دورانية ذات سريان محوري تستخدم دوارًا واحدًا (أ) الدرفيل؛ (ب) صدر الدراس؛ (جـ) صدر الفصل؛ (د) مضرب خلفي؛ (هـ) حذاء التنظيف؛ (و) إعادة الرجيع.

(عن: Prairie Agricultural Machinery Institute, Canada)

يوضح الشكل رقم (٩,٤) رسمًا تخطيطيًا لآلة حصاد ودراس ذات سريان محوري أو دوراني باستخدام درفيلين متماثلين. يوضح الشكل رقم (٩,٥) رسمًا تخطيطيًا لآلة حصاد ذات سريان محوري بها درفيل واحد. في تلك الآلات، يتم إجراء الدراس والفصل في الدرفيل أو الدرفيلين في آن واحد. ولقد استخدم

" دوار " بسبب الحركة الدورانية التي تتم بها عملية الفصل بدلاً من الحركة الترددية للرداخات. كما أطلق اسم السريان المحوري بسبب أن محور الدرفيل يكون موازيًا لخط تحرك الآلة مقارنة بدرفيل الدراس المتعامد على اتجاه الحركة في الآلات العادية. وفي أحد تصميمات آلة حصاد ذات درفيل واحد، تم تركيب الدرفيل في وضع متعامد كما هو مبين في الشكل رقم (٩,٦)، كما يوجد أيضًا في بعض الآلات التقليدية عدة درافيل دراس كما هو موضح في الشكل رقم (٩,٧) ويدور كل درفيل بسرعة أسرع من سابقه وذلك لدراس الحبوب التي يصعب دراسها بدرفيل واحد. كما يوضح الشكل رقم (٩,٨) تصميمًا وترتيبًا آخر. حيث يوجد درفيل دراس تقليدي متعامد مع درفيل ذي أسلحة (شوك) لعملية الفصل. ويستخدم هذا التصميم على وجه الخصوص مع المحاصيل ذات السيقان الصلبة مثل الأرز.

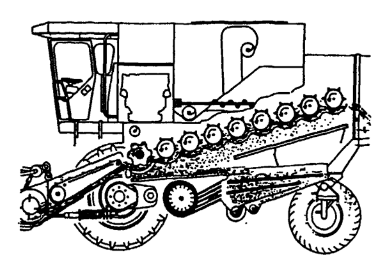


شكل ٩,٦. آلة حصاد ودراس دورانية تستخدم دوارًا بعرض الآلة: ١- صدر الدراس؛ ٢- هيكل قفصي؛ ٣- كنس القفص؛ ٤- دوار؛ ٥- أذرع الطرد؛ ٦- مقطع القش (التبن)؛ ٧- بريمة توزيع؛ ٨- حذاء التنظيف؛ ٩- بكرات التعاجل.

(عن: Prairie Agricultural Machinery Institute, Canada)

٩,١,٢ القطع والتكويم

يفضل حصاد بعض المحاصيل التي لاتناسبها طريقة الحصاد المباشر عن طريق القطع ثم التصفيف قبل إجراء الدراس ثم الفصل والتنظيف. فعندما



شكل ٩,٧. تصميم لآلة حصاد ودراس يستخدم درفيل دراس تقليدي وأسطوانات فصل متعددة.

(عن: Prairie Agricultural Machinery Institute, Canada)

لايتجانس نضج المحصول أو في بعض المناطق الشمالية ذات الأجواء الباردة، لايكتمل النضج تمامًا. في هذه الحالة، يتيح القطع والتصفيف في الحقل الفرصة لاستكمال النضج قبل الدراس. ولبعض المحاصيل، مثل البقوليات الصالحة للاستهلاك الآدمي، يتم قطعها من أسفل التربة ثم تكويمها تجنبًا لقطع قرون الحبوب.



شكل٩,٨. شكل عام لآلة حصاد ودراس تستخدم درفيل دراس تقليديًا مركبًا بعرض الآلة وجهاز فصل ذا أسلحة دورانية. (عن: Deere and Co.)



شكل ٩,٩. وحدة التقاط صفوف وأساسيات تشغيلها.

(عن: Deere and Co. © 1991)

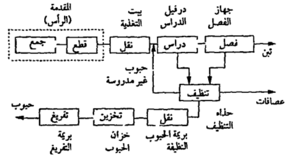
نوقشت معدات القطع والتصفيف في الفصل الثامن. وعمومًا، يتم القطع بواسطة سكاكين (مناجل) ويتم التكويم بواسطة آلة ذات لوح تكويم. يتم وضع المحصول أثناء القطع بشكل أكوام في صفوف ضيقة ليتم تجفيفها. حيث يستبدل المضرب وقضيب القطع الموجودان في آلة الحصاد بجهاز لقط كما هو موضح في الشكل رقم (٩,٩). ويتم التقاط الصفوف برفق بواسطة جهاز اللقط وإدخاله إلى آلة الحصاد والدراس لاستكمال باقي عمليات الحصاد. وإذا تمت زراعة المحصول في صفوف، يتم تجميعه من عدة صفوف لتشكيل صف واحد.

٩,٢ العمليات الوظيفية

تؤدي آلة الحصاد والدراس الحديثة العديد من العمليات الوظيفية. وهذه العمليات هي: الجمع والقطع أو اللقط (في حالة التكويم)، والدراس، والفصل والتنظيف. يوضح الشكل رقم (٩,١٠) مخطط عمليات الآلة.

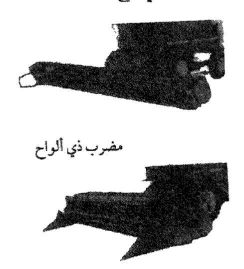
٩,٢,١ الجمع، القطع، اللقط والتغذية

رأس قطع الحبوب. توجد آليات جمع وقطع المحصول على لوح القطع



شكل ٩,١٠. مخطط عمليات آلة حصاد ودراس.

(وتسمى أيضًا مقدمة الآلة) كما هو موضح في الشكل رقم (٩,١١). ومن الشائع استخدام أنواع من المضارب ذات ألواح أو خوص أو ذات أصابع لاقطة وذلك لجمع معظم محاصيل الحبوب الصغيرة. ويستخدم المضرب اللاقط للمحاصيل الراقدة. وتعمل الأصابع التي يمكن ضبط اتجاهاتها إما بواسطة دليل كامة أو آلية أعمدة متوازية، على المساعدة في رفع النباتات الراقدة تمهيدًا لقطعها.



شكل ٩,١١. نوعان من المضارب، الأعلى ذو الألواح والأسفل لاقط.
(عن: Deere and Co. © 1991)

يؤدي التشغيل المناسب للمضرب إلى تقليل فواقد المقدمة إلى أدنى مستوى. وتعرف فواقد المقدمة على أنها فواقد قضيب القطع وتناثر الحبوب. وأثناء عملية التكويم تشمل هذه الفواقد كلاً من فواقد التكويم إضافة إلى فواقد جمع الآلة في عمليتي اللقط والنقل.

والعوامل التي تؤثر على فواقد المقدمة هي:

١ - ارتفاع القطع.
٢ - وضع المضرب بالنسبة لقضيب القطع.
٣ - سرعة المضرب بالنسبة للسرعة الأمامية للآلة.

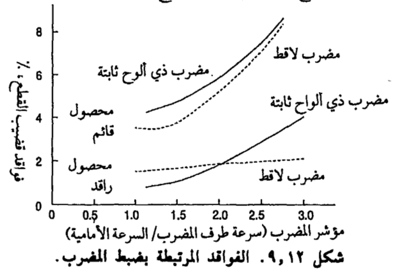
يعني التشغيل المثالي للآلة قطع المحصول أسفل السنابل مباشرة. وإذا لم يتساوى ارتفاع المحصول أو كان راقداً في بعض الأماكن، فيعني ذلك عدم إمكانية قطع المحصول بصورة متجانسة وبالتالي زيادة الفواقد من مقدمة الآلة. يتأثر الارتفاع المثالي للمضرب بعدة عوامل منها: ارتفاع المحصول، ومقدار القش المطلوب قطعه وحالة القش. وعادة، يجب ضبط ألواح المضرب، عندما يكون في الوضع الأسفل، بحيث تضرب الألواح ساق النبات على مسافة تتراوح من ١٥ إلى ٢٥ سم أعلى وإلى الأمام قليلاً من قضيب القطع. أما المحاصيل الراقدة فيتم تثبيت المضرب إلى الخلف قليلاً. ترجع أهمية السرعة المناسبة للمضرب إلى تقليل فواقد النثر والجمع. تؤدي زيادة سرعة المضرب عن اللازم إلى زيادة فواقد النثر بشدة، كما تتسبب السرعة البطيئة جداً في سقوط السنابل المقطوعة خارج قاعدة الآلة. ومن الموصى به أن تكون سرعة المضرب المرغوبة في حدود تتراوح من ٢٥ إلى ٥٠٪ أعلى من السرعة الأمامية للآلة. ويمكن تعريف مؤشر المضرب كما يلي:

$$\text{Reel index} = \frac{v_r}{v_c} \qquad (٩,١)$$

حيث:

v_r = السرعة المماسة لطرف المضرب
v_c = السرعة الأمامية للآلة.

وللتشغيل المناسب، يجب أن يتراوح مؤشر المضرب من ١,٢٥ إلى ١,٥٠. ويتم تشغيل المضرب إما بسير على شكل حرف (V) أو محرك هيدرولي. ويوفر العديد من الصانعين تحكمًا في سرعة المضرب من داخل غرفة القيادة وذلك لضمان التشغيل الجيد. كما يمكن ضبط وضع محاور المضرب بالنسبة لقضيب القطع ويجب ضبطه جيداً للوصول إلى نتائج مرضية لعملية الجمع. فعلى سبيل المثال، في حالة المحاصيل الراقدة يتم تثبيت المضرب إلى الأمام كثيراً من قضيب القطع وذلك لتحسين رفع النباتات. ويوضح الشكل رقم (٩,١٢) تأثير وضع المضرب ومؤشره على فواقد قضيب القطع للمضارب ذات الألواح والمضارب اللاقطة.

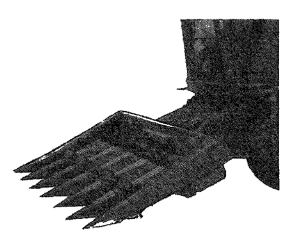


شكل ٩,١٢. الفواقد المرتبطة بضبط المضرب.

(عن: Wilkinson and Braumbeck, 1977)

يتم قطع معظم محاصيل الحبوب الصغيرة بواسطة قضيب قطع يتكون من شرائح سكاكين ترددية الحركة تعمل على قص سيقان النباتات. تم مناقشة أداء تشغيل قضيب القطع بالتفصيل في الفصل الثامن. ولتقليل فواقد قضيب القطع للمحاصيل ذات الحبوب الصغيرة والقريبة من سطح التربة، فقد تم تصميم قضيب قطع مرن حيث يتبع قضيب القطع المرن تعاريج سطح الأرض خلال عرض قطع الآلة مما ينتج عنه تماثل في ارتفاع القطع وتقليل الفواقد إلى الحد الأدنى.

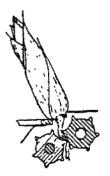
رأس قطع الذرة. يتم قطع وجمع الذرة بواسطة رأس قطع الذرة الموضحة في الشكل رقم (٩,١٣). ويمكن حصاد من ٣ إلى ١٢ صفًا باستخدام الرأس



ل ١٣,٩. رأس قطع الذرة. (عن: Deere and Co. © 1991)

ـبة. ويتم ضبط صفوف الزراعة لتناسب عملية الحصاد. ويتم توجيه نقاط ـع أثناء الحصاد لتمر بين صفوف النباتات. وتؤدي رأس قطع الذرة العمليات ـية: الجمع، ونزع الكيزان، وتقشير الأغلفة. وتزود وحدات الجمع بجنازير ـمع مركب عليها وصلات أصبعية تساعد على تحريك السيقان إلى الداخل ثم ـساك بمنطقة النزع ومنع الكيزان من الخروج خارج الآلة. وتكون سرعة الجنازير وية تقريبًا للسرعة الأمامية للآلة عندما تكون السيقان تامة الاستقامة لأعلى.

يطلق على عملية كسر كيزان الذرة من فوق الساق اسم نزع الكيزان. ويتم ع بواسطة بكرات نزع مشققة (ذات تجاويف) والتي تمسك بالساق ثم تسحبه بين ـيبي النزع. وتكون المسافة بين قضبان النزع بحيث لاتسمح بمرور كيزان الذرة ما. وعند وصول كيزان الذرة إلى قضبان النزع يتم فصلها من الساق ثم نقلها إلى بواسطة جنازير الجمع كما هو مبين في الشكل رقم (٩,١٤). ويتم سحب ق بالكامل مما يؤدي إلى نزع جميع الكيزان. ويوجد تصميم آخر لقضبان النزع، ـن عليه اسم البكرة الحلزونية المضلعة أو بكرات حلزونية ذات نتوءات كما في ـكل رقم (٩,١٥). وكما يعني الاسم، تحتوي هذه البكرات على أضلاع ـزنية متقاربة تنزع الكيزان بمجرد وصولها إلى البكرات ثم تدفع الساق للخلف.





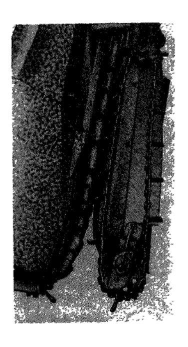


شكل ٩,١٤. رأس ذرة ذات بكرات القطف (النزع) المحززة وأساسيات تشغيلها.

(عن : top- Wilkinson and Braumbeck, 1977; bottom- Kepner et al., 1978)

ويتراوح الطول المعتاد للبكرات من ١ إلى ١,٢٥ م، ويتراوح قطرها من ٥,٧ إلى ١٠ سم. وتكون السرعة المفضلة في حدود ١٨٠ م/ د. ويجب الاهتمام بالسرعة المثالية للحصول على تشغيل جيد. حيث تؤدي السرعات العالية إلى تفريط كيزان الذرة من نقطة تثبيتها على الساق بينما قد تؤدي السرعات البطيئة إلى انزلاق الساق ومن ثم تراكم بقايا النباتات على البكرات. ويجب أن تتناسب سرعة دوران البكرات

مع السرعة الأمامية للآلة. فإذا دارت بكرات النزع بسرعات بطيئة، سيؤدي ذلك إلى انخفاض وضعهن قبل سحب أي نباتات. بينما تؤدي السرعات العالية لبكرات النزع إلى خروجها من أعمدة النزع ثم سقوطها على الأرض. كما أنه من الأهمية ضبط المسافة بين البكرات لضمان التشغيل المرغوب. وفي المعتاد تضبط المسافة بين البكرات بحيث تتراوح من ٦ إلى ١٣ مم. وإذا زادت المسافة عن ذلك فسوف تنزلق سيقان النباتات وإذا قلت المسافة فسوف تتهشم السيقان.



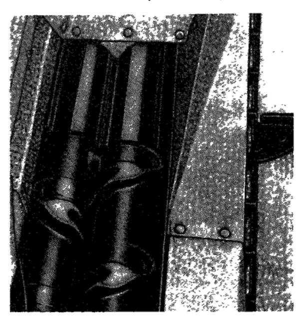


شكل ٩,١٥. بكرات القطف من نوع الحلزون المضلع ونوع حلزوني ذي نتوءات في رأس الذرة وأساسيات تشغيلها.

(عن: left- Kepner et al., 1978; right- Wilkinson and Braumbeck, 1977)

تعتبر بكرات النزع ذات التجاويف المستقيمة أكثر خشونة مقارنة بالبكرات الحلزونية المضلعة. وتمنع ألواح النزع الموجودة أعلى البكرات كيزان الذرة من ملامسة البكرات. ويتراوح قطر البكرات في المعتاد من ٩ إلى ١٢,٥ سم وطول الجزء المضلع (ذو التجاويف) من ٤٠ إلى ٦٠ سم. ونتيجة لحركتها الإيجابية، تتيح البكرات المضلعة سعة أكبر وسرعة تحرك أسرع للآلة.

تزود آلات نزع كيزان الذرة أحيانًا ببكرات خاصة لبقايا المحصول وذلك للتخلص من بقايا السيقان والنباتات والتي لاتستطيع بكرات الفصل الحلزونية أو المجوفة إزالتها. حيث يمكن وضع تجاويف مقطعية على النهاية الطرفية العلوية لبكرات النزع، كما هو مبين في الشكل رقم (٩,١٦).



شكل ٩,١٦. بكرات بقايا المحصول في أعلى نهايات بكرات نزع الكيزان.
(عن: Kepner et al., 1978)

٩,٢,٢ الدراس

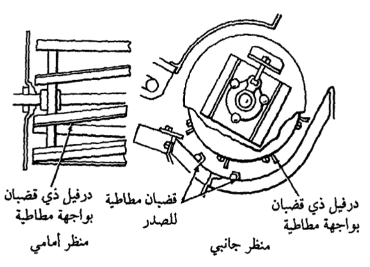
الآليات. يتم الدراس نتيجة تأثير تفاعل التصادم والفرك (الاحتكاك) في آلات الحصاد التقليدية والدورانية. وتستخدم أسطوانة الدراس الدورانية وشبكة الصدر في إتمام الدراس. ومع دوران أسطوانة الدراس، يجبر المحصول على المرور في الفراغ الموجود بين الأسطوانة والصدر ومن ثم يتعرض لعمليتي التصادم والفرك مما يسبب تفريط الحبوب. وفي آلة الحصاد التقليدية يكون سريان المحصول عموديًا على محور دوران الأسطوانة بينما يتوازى مع محور الأسطوانة في آلة الدراس الدورانية(المحورية). ويوجد أساسًا ثلاثة أنواع من أسطوانات الدراس في الآلات التقليدية.

أسطوانات ذات جرائد مسننة وصدر. تتركب الأسطوانة ذات الجرائد المسننة من عدد من الجرائد الحديدية المتعرجة من الجانب الخارجي ومغطاة بالمطاط والتي تركب على مجموعة من صرر نجمية الشكل لتكوين الأسطوانة. وتركب الأسطوانة على عمود دوران واحد مركب على قاعدة ويدار بواسطة سيور بشكل حرف (V) . ويتكون الصدر من جرائد متوازية يتم تثبيتها معًا بواسطة جرائد منحنية (ملتوية) متوازية كما هو موضح في الشكل رقم (٩,١٧). مع دوران الأسطوانة يتم إجبار المحصول على المرور بين الصدر والجرائد المسننة ومن ثم التعرض لقوى التصادم والفرك لإتمام عملية الدراس. ويعتبر درفيل الدراس ذو الجرائد المسننة هو الأكثر شيوعًا في الاستخدام. حيث يمكنه دراس معظم المحاصيل بواسطة القوى الناتجة من هذا التصميم.



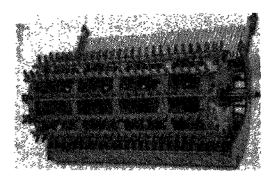
شكل ٩,١٧. الدراس بجرائد مسننة. (عن: Deere and Co. © 1991)

أسطوانات ذات جرائد مائلة (زاوية) والصدر. تصنع الأسطوانة ذات الجرائد المائلة من جرائد حديدية مخروطية على شكل زاوية (L) مغطاة بالمطاط بدلاً من الجرائد المسننة، كما في الشكل رقم (٩,١٨)، كما يتم تغطية الصدر أيضًا بالمطاط. ويتم الدراس نتيجة الحركة المدراسية ذات التأثير الأكثر رفقًا. ويستخدم هذا التصميم عادة مع المحاصيل الكثيفة مثل البرسيم العادي والحجازي.



شكل ٩,١٨. درفيل دراس وصدر ذو قضبان مائلة. (عن: Deere and Co. © 1991

أسطوانة ذات أصابع وصدر. تحتوي هذه الأسطوانة على أصابع مثبتة على الجرائد بدلاً من الأسنان. كما يحتوي الصدر على أصابع مماثلة أيضًا، كما هو موضح في الشكل رقم (٩,١٩). وتعتمد طريقة الدراس في هذه الحالة على تأثير قوى القطع والتفتيت. ويستخدم الدرفيل ذو الأصابع لسيقان الأرز الصلبة لتحسين معدل تداول المادة وأحيانًا للبقوليات الصالحة للاستخدام الآدمي. وعلى الرغم من عدم تكسير الحبوب بصورة ملحوظة، فيوجد تأثير غير مرغوب فيه من حيث زيادة تفتت السيقان مما يحتم ضرورة فصلها من الحبوب.



شكل٩,١٩. درفيل دراس وصدر ذو أصابع. (عن: Deere and Co. © 1991

تتراوح أقطار أسطوانات الدراس من ٣٨ إلى ٥٦ سم. وتدور بسرعات تتراوح من ١٥٠ إلى ١٥٠٠ لفة/ د. تتحدد سرعة الأسطوانة حسب نوع وحالة المحصول. حيث تتطلّب المحاصيل الرطبة والصعب دراسها سرعات عالية. ويتزايد كسر الحبوب بزيادة سرعة الأسطوانة ويعتبر الخلوص بين الأسطوانة والصدر من أهم العوامل المؤثرة على جودة الدراس. فإذا كان الخلوص كبيراً جداً، فلايتم دراس المحصول بالكامل. بينما يؤدي الخلوص الصغير جداً إلى زيادة القدرة المطلوبة للأسطوانة وزيادة كسر الحبوب. ويتناسب طول الأسطوانة مع عرض رأس الحاصدة.

تعتبر أسطوانات الدراس في الآليات ذات السريان المحوري جزءاً من جهاز الفصل. حيث يحتوي الجزء الأمامي من الدرفيل على جرائد مسننة حلزونية مركبة على مسافات متساوية. بينما يتكون النوع ذو الدرفيلين من جريدتين حلزونيتين مثبتتين على زاوية مقدارها ١٨٠°، الشكل رقم (٤, ٩). ويحتوي التصميم ذو الدرفيل الواحد على ثلاثة أعمدة حلزونية يوجد بينها مقاطع مستقيمة متدرجة، الشكل رقم (٣, ٩). ويكون قطر الدرفيل في الآلة ذات الدرفيلين ٢, ٤٣ سم، بينما يتراوح القطر في التصميم ذي الدرفيل الواحد من ٦١ إلى ٢, ٧٦ سم. ويأخذ المحصول مساراً حلزونيًا أثناء الدراس في الآلة الدورانية. وتكون سرعة الدرفيل أقل من الآلة التقليدية بينما الخلوص في الصدر يكون كبيراً مما يعطي دراسًا أكثر شمولية وأقل في كسر الحبوب تحت معظم ظروف الحصاد.

استخدم الدراس متعدد الأسطوانات وذلك بترتيب عدة أسطوانات متتابعة (على التوالي)، لدراس محاصيل البقوليات والفول السوداني. وتدور كل أسطوانة على سرعة أكبر من التي تسبقها في الترتيب.

الأداء. يقاس أداء آليات الدراس بالتالي:

١ ـ كفاءة الدراس.

٢ ـ كفاءة الفصل.

٣ـ كسر الحبوب.

٤ ـ كمية القش المقطوعة.

تُعرف كفاءة الدراس على أنها النسبة بين كمية الحبوب المدروسة وإجمالي كمية الحبوب الداخلة إلى آلية الدراس. وتعرف كفاءة الفصل لأسطوانة الدراس بأنها نسبة البذور المفصولة عند الصدر (في حالة التصميم التقليدي) أو عند جزء الدراس في آلات الحصاد الدورانية، منسوبة إلى كمية الحبوب الموجودة في المحصول الداخل لآلية الدراس. ومن المهم جداً أن تكون درجات الفصل عالية أثناء الدراس وذلك لتقليل الفقد في جهازي الفصل والتنظيف. تتراوح كفاءة الفصل من ٦٠ إلى ٩٠٪. ويشار إلى كسر الحبوب على أنه الكسر الآلي للحبوب أثناء عملية الدراس. ويشمل كسر الحبوب كلاً من الحبوب المكسورة، والحبوب المخدوشة أو التي يوجد كسر على سطحها أو التي بها كسر داخلي. يتسبب الكسر الآلي في إضعاف نسبة الإنبات، وانخفاض قابلية الحبوب للتخزين، وانخفاض مواصفات التصنيع. ويوجد العديد من الطرق لقياس كسر الحبوب. وتشمل هذه الطرق كلاً من الفحص بالنظر لعينة من الحبوب، وإمرار الحبوب على مجموعة من الغرابيل القياسية، واختبار نسبة الإنبات. ويتسبب الكسر الزائد للقش أثناء الدراس في زيادة الأحمال على حذاء التنظيف مما قد يسبب زيادة الفقد في جهاز التنظيف. وأيضاً، تزداد القدرة المطلوبة في جهاز الدراس بزيادة مقدار الكسر في القش.

تتأثر عناصر الأداء في الدراس بعدة عوامل، هي:

١ ـ عوامل تصميمية.

(أ) قطر الأسطوانة

(ب) طول الصدر

(جـ) عدد الجرائد المسننة

٢ ـ عوامل التشغيل.

(أ) سرعة الأسطوانة

(ب) الخلوص بين الأسطوانة والصدر

(جـ) معدل تغذية المادة

٣ ـ حالة المحصول.

(أ) نسبة الرطوبة في المحصول

(ب) درجة نضج المحصول

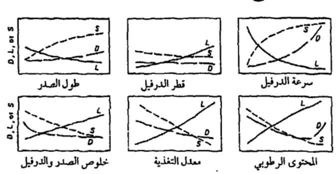
(جـ) نوع المحصول

كفاءة الدراس. تتزايد كفاءة الدراس تقاربيًا (في خط متقارب) مع طول الصدر إلى نقطة معينة. حيث لاتؤدي زيادة طول الصدر بعد هذه النقطة إلى زيادة كفاءة الدراس بل قد تتسبب في تناقص الكفاءة تحت ظروف معينة. ومع ذلك، فقد أوضحت التجارب أنه تحت ظروف الدراس السهلة توجد فائدة طفيفة في زيادة طول الصدر عن ٣٣سم (Arnold, 1964). وتؤدي زيادة قطر أسطوانة الدراس في الآلات التقليدية إلى زيادة فواقد الدراس بمعدل ٩, ٠٪ لكل ٥, ٧ سم زيادة في القطر. ولاتبدو هناك أي تأثيرات لعدد الجرائد المسننة أو المسافة بينها على كفاءة الدراس. وتعتبر سرعة الأسطوانة أحد العوامل الهامة جدًا المؤثرة على كفاءة الدراس. يمكن تقليل فواقد الدراس معنويًا للمحاصيل صعبة الدراس أو ذات ظروف صعبة وذلك بزيادة سرعة الأسطوانة. حيث وجد في إحدى التجارب أن زيادة السرعة من ٢٣ إلى ٣٣ م/ث أدى إلى تقليل الفاقد من ٨ إلى ٤٪. ويؤثر الخلوص بين الأسطوانة والصدر تأثيرًا عكسيًا. حيث تؤدي الزيادة بمقدار $\frac{١}{٨}$ بوصة إلى زيادة الفقد غير المدروس إلى مايتراوح من ٦, ٠ إلى ٢٪. وتعرف نسبة خلوص الصدر بأنها نسبة الفراغ بين الأسطوانة والصدر في مقدمتهما إلى الفراغ في مؤخرتهما. وتطبق هذه النسبة لتسهيل تغذية المحصول للأسطوانة. ويعتبر تأثير هذه النسبة على كفاءة الدراس غير واضح أو محدد.

تزداد فواقد الدراس بزيادة معدل تغذية المادة ونسبة الحبوب إلى مواد غير الحبوب (MOG). ويتم التعبير عن معدل تغذية المادة عمومًا بوحدات طن/ ساعة للمادة غير الحبوب. ويمكن التعبير عن وحدات تغذية المادة بوحدات معدل تغذية الحبوب ومعدل التغذية الكلي. كما تؤثر نسبة الرطوبة على كفاءة الدراس. وعمومًا، يصبح دراس المحصول أكثر صعوبة بزيادة نسبة رطوبته، ونتيجة لذلك تزداد فواقد الدراس. وأيضًا، إذا لم يكن المحصول تام النضج ويوجد به العديد من المادة الخضراء، يصبح الدراس أكثر صعوبة وتزداد الفواقد.

كفاءة الفصل. تعرف كفاءة فصل الحبوب في أسطوانة الدراس على أنها نسبة الحبوب المفصولة المارة من الصدر إلى كمية الحبوب الكلية في المحصول الداخل إلى أسطوانة الدراس ويعبر عنها كنسبة مئوية. ويتم فصل كمية كبيرة من الحبوب في أسطوانة الدراس ويترجم ارتفاع كفاءة فصل الحبوب في أسطوانة الدراس على أنه كفاءة فصل ونظافة عاليتين للآلة. وقد تصل كفاءة الفصل إلى ٩٠٪، وزيادة طول الصدر تزيد من كفاءة الفصل ولكن بمعدل متناقص. ويزيد فصل الحبوب بزيادة سرعة الأسطوانة. وبينما يؤثر عدد الجرائد المسننة تأثيراً قليلاً على الكفاءة، فإن زيادة قطر الأسطوانة يؤدي إلى تقليل فصل الحبوب. كما تؤدي زيادة نسبة خلوص الأسطوانة إلى الصدر إلى تقليل الفصل. كما تؤدي زيادة معدل التغذية إلى ظهور تأثير عكسي على كفاءة الفصل.

كسر الحبوب. تتسبب سرعة الأسطوانة في التأثير الأكثر فعالية على كسر الحبوب أثناء الدراس. حيث يتزايد كسر الحبوب في صورة دالة أسية بزيادة سرعة الأسطوانة. وتعمل زيادة طول الصدر على زيادة كسر الحبوب بصورة طفيفة. بينما تؤدي زيادة قطر الأسطوانة مع زيادة الفتحة بين الأسطوانة والصدر إلى تقليل كسر الحبوب. كما تؤدي زيادة معدل التغذية إلى توفير وسادة عازلة قد تقلل من كسر الحبوب. وتؤثر رطوبة الحبوب على نسبة الكسر. فزيادة رطوبة الحبوب تزيد من كسر الحبوب، إلا أنه، مع نسب رطوبة منخفضة جداً - تميل الحبوب إلى التصدع



شكل ٩,٢٠. الصفات التخطيطية لبعض علاقات الأداء لدرفيل ذي جرائد مسننة وصدر ذي شبكة مفتوحة. (L) = فواقد الدراس؛ (D) = كسر الحبوب؛ (S) = نسبة الحبوب المفصولة خلال شبكة الصدر.

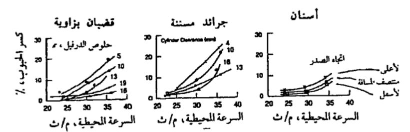
(عن: Deere and Co. © 1991)

(حدوث شرخ) مما يزيد من كسر الحبوب. ولعملية تفريط الذرة، فإن النسبة المثالية للرطوبة التي سجلت في تجارب أجراها (Byg, 1968) كانت حول ٢٠٪.

يوضح الشكل رقم (٩,٢٠) تأثير العوامل المختلفة على أداء الدراس لآلة الحصاد. والسرعات النمطية لأسطوانات الدراس والخلوصات بين الدرفيل والصدر المستخدمة في التجارب موضحة في الجدول رقم (٩,١). كما يوضح الشكل رقم (٩,٢١) تأثير نوع الأسطوانة، وسرعتها، والخلوص على الكسر الظاهري لمحصول شعير تتراوح رطوبته من ١٢ إلى ١٥٪.

جدول ٩,١. السرعات المحيطية النمطية للدرفيل والخلوص لعدة محاصيل مختلفة. (عن: Kepner et al., 1978)

المحصول	السرعة المحيطية (جرائد مسننة أو أسنان) (م/ث)	الخلوص المتوسط درافيل ذات جرائد مسننة (م)
البرسيم الحجازي	٢٣ - ٣٠	٣ - ١٠
الشعير	٢٣ - ٢٨	٦ - ١٣
فول للأكل	٨ - ١٥	٨ - ١٩
فول للتقاوي	٥ - ٨	٨ - ١٩
البرسيم العادي	٢٥ - ٣٣	١,٤ - ٦
الذرة	١٣ - ٢٢	٢٢ - ٢٩
الكتان	٢٠ - ٣٠	٣ - ١٣
الذرة الرفيعة	٢٠ - ٢٥	٦ - ١٣
الشوفان	٢٥ - ٣٠	١,٥ - ٦
البازلاء	١٠ - ١٥	٥ - ١٣
الأرز	٢٥ - ٣٠	٥ - ١٠
الشيلم (الراي)	٢٥ - ٣٠	٥ - ١٣
فول الصويا	١٥ - ٢٠	١٠ - ١٩
القمح	٢٥ - ٣٠	٥ - ١٣



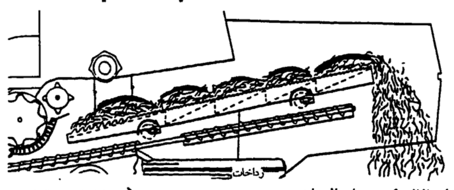
شكل ٩,٢١. تأثير سرعة الدرفيل والخلوص على التلف الظاهري لشعير تتراوح نسبة رطوبته من ١٢٪ إلى ١٥٪.

(عن: Wilkinson and Braumbeck, 1977)

٩,٢,٣ الفصل

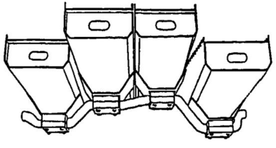
الآليات. يشار إلى فصل الحبوب في آلة الحصاد على أنه فصل الحبوب من القش. تفصل كمية كبيرة من الحبوب (٧٠ إلى ٩٠٪) أثناء عملية الدراس. وهناك نوعان من أجهزة فصل الحبوب يشاع استخدامهما في آلات الحصاد والدراس وذلك لفصل الحبوب المتبقية مع القش بعد عملية الدراس. تستخدم رداخات الفصل في الآلات التقليدية بينما تستخدم أجهزة فصل دورانية مع الآلات الدورانية.

الرداخات. تتكون الرداخات من كمرات حديدية على شكل حرف (U) مركبة على عمود مرفقي. ومع دوران العمود تتحرك الكمرات في مسار دائري أو قطع ناقص مما يجعل القش يتحرك حركة ترددية (ارتدادية) على قمة الكمرات ثم يتحرك إلى مؤخرة الآلة وذلك لوجود أسنان منشارية على سطح الكمرات تدفعه إلى الخلف. وتتسبب الحركة الترددية في تساقط الحبوب وبعض العصافات إلى أسفل فتنفصل عن القش. ويوجد من ثلاث إلى ثماني كمرات في الآلة اعتماداً على



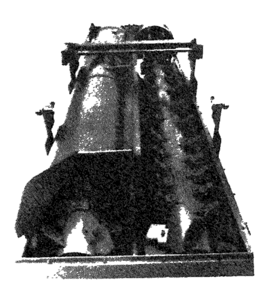
شكل ٩,٢٢. عمل الرداخ. (عن: Deere and Co. © 1991)

التصميم وحجم الآلة. كما يتراوح عرض القناة من ٢٠ إلى ٣٠ سم ومقدار قذف عمود المرفق في حدود ٥ سم ويدور العمود بسرعة حوالي ٢٠٠ لفة/ د. يوضح الشكل رقم (٩,٢٢) منظراً جانبيًا لجهاز فصل تقليدي موضحًا حركة القش. ويوضح الشكل رقم (٩,٢٣) عمود المرفق المستخدم في توليد الحركة الترددية للقنوات.



شكل ٩,٢٣. الرداخات وعمود مرفق الإدارة. (عن: Deere and Co. © 1991)

أجهزة الفصل الدورانية. قوة الطرد المركزي هي القوة الأساسية التي تتسبب في تحرك الحبوب خلال وسادة من القش وتتولد قوة الطرد المركزي من دوران وسادة القش بواسطة الدرفيل وذلك مقارنة بقوة الجاذبية الأرضية الموجودة في الرداخات. ويقوم الدرفيل بتوليد مجال لقوة طرد مركزية تعادل عدة أضعاف قوة الجاذبية الأرضية. ويلف الدرفيل داخل شبكة أسطوانية ثابتة. وتعمل الريش (الزوائد) المثبتة على سطح الدرفيل على جعل المحصول يأخذ مساراً حلزونيًا في المسار الحلقي الموجود بين الدرفيل والشبكة. وتعتبر حركة المحصول في جهاز الفصل الدوراني حركة إجبارية وليست حركة حثية (كما هو الحال في الرداخات). وينتج عن هذا سعة عالية لوحدة المساحة من الشبكة إلا أنها تتطلّب قدرة أعلى. وحيث أن الفصل لايعتمد على الجاذبية الأرضية فلايوجد أي تأثير لعدم استواء سطح الأرض على عملية الفصل. يبين الشكل رقم (٩,٢٤) جهاز فصل دورانيًا به درفيلان. ويكون قطر مقطع مقدمة التغذية للدرفيل ٤٦٤ م وقطر مقطع جهاز الفصل ٥٠٢ م مما يتيح مساحة إجمالية للفصل في حدود ١,٢ م^{٢}، ويدور الدرفيل على سرعة ٧٠٠ لفة/ د.



شكل ٩,٢٤. جهاز فصل دوراني ذو أسطوانة وأسلحة.
(عن: Deere and Co. © 1991)

نظرية العمل. تعتمد نظرية عمل جهاز فصل الحبوب التي سوف تُشرح في هذا الجزء على ماتوصل إليه (Gregory and Fedler, 1987). حيث قاما بمقارنة حركة الحبوب خلال وسادة من القش بعملية الانتشار وذلك لاستنباط نموذج للفصل. والنموذج المستنبط مبني على قانون فيك (Fick's law) وهو في الصورة التالية:

$$Q_g = -D\frac{A}{L_d}\left(C_2 - C_1\right) \qquad (٩,٢)$$

حيث:

Q_g = معدل السريان الحجمي للحبوب، م^{٣}/د

A = المساحة العرضية للمقطع، م^{٢}

D = معامل الانتشار، م^{٢}/د

C_2 = تركيز الحبوب في الرداخات

C_1 = تركيز الحبوب خارج الرداخات

L_d = الطول الذي يحدث الانتشار خلاله، م.

بالنسبة للرداخات، يعرف معدل سريان الحبوب بأنه التغير في حجم الحبوب بالنسبة للزمن. كما يكون تركيز الحبوب أسفل الرداخات مساويًا للصفر. وعلى ذلك تصبح المعادلة السابقة كما يلي:

$$\frac{d V_g}{d t} = - D \frac{A}{L_d} \left(C_2 - C_1 \right) \qquad (٩,٣)$$

حيث:

V_g = حجم الحبوب على الرداخات، م[٣]

t = زمن، ث.

يعرف تركيز الحبوب (C_2) على الرداخات على أنه حجم الحبوب مقسومًا على الحجم الكلي للمادة. وحيث توجد الحبوب في حجم المادة غير الحبوب (MOG)، فإن الحجم الكلي يصبح مساويًا لحجم مواد غير الحبوب. كما تعرف المساحة بوحدات عرض وطول الرداخات وعلى ذلك يعبر عن المعادلة رقم (٩,٣) كما يلي:

$$\frac{d V_g}{d t} = - D \frac{WL}{L_d} \left(\frac{V_g}{V_{MOG}} \right) \qquad (٩,٤)$$

حيث:

W = عرض مساحة جهاز الفصل، م

L = طول مساحة جهاز الفصل، م

V_{MOG} = حجم مواد غير الحبوب على الرداخات، م[٣].

وتصبح المعادلة السابقة بعد إعادة ترتيبها وإجراء التكامل كما يلي:

$$\ln \left(\frac{V_{gf}}{V_{gi}} \right) = - D \frac{WL}{L_d \ V_{MOG}} \ t \qquad (٩,٥)$$

وبأخذ الأس الطبيعي لطرفي المعادلة نحصل على:

$$\frac{V_{gf}}{V_{gi}} = e^{-[DWL/(L_d V_{MOG})]} \quad (٩,٦)$$

يمكن استبدال حجم الحبوب بكتلتها مقسومة على كثافتها. وبالتالي يمكن إعادة كتابة المعادلة رقم (٦,٩) بوحدات كتلة الحبوب كما يلي:

$$\frac{G_f}{G_i} = e^{-[DWL/(L_d V_{MOG})]} \quad (٩,٧)$$

حيث:

G_f = الكتلة النهائية للحبوب، كجم

G_i = الكتلة الأولية للحبوب، كجم.

وباستبدال (v_{MOG}/t) بمعدل تغذية مواد غير الحبوب:

$$\frac{G_f}{G_i} = e^{-[DW\rho_{MOG}/(L_d M)]\,L} \quad (٩,٨)$$

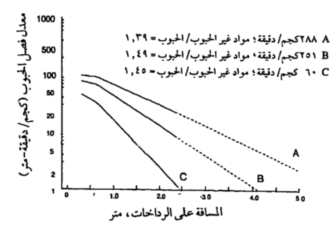
حيث:

r_{MOG} = الكثافة الظاهرية لمواد غير الحبوب، كجم/م٣

M = معدل سريان مواد غير الحبوب، كجم/د.

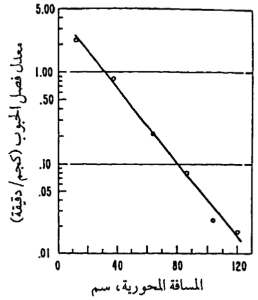
وبافتراض أن جميع المتغيرات الموجودة مع الأس الطبيعي (ماعدا الطول (L)) في المعادلة السابقة ظلت ثابتة وتساوي (k_l)، فسوف تكون المعادلة الناتجة في صورة دالة تناقصية في طول الرداخات كما هو موضح أدناه. وقد وُجد أن قيم (k_l) تعتمد على معدل تغذية مواد غير الحبوب.

قام كل من (Reed et al., 1974) و (Wang, 1987) بدراسة فصل الحبوب في



شكل ٩,٢٥. توزيع الحبوب المفصولة على طول الرداخ عند ثلاث معدلات تغذية مختلفة. يوضح الرقم المبين على مسافات كل واحد قدم عن نسبة الفصل الكلية لهذا القدم من الطول.

(عن: Reed et al., 1974)



شكل ٩,٢٦. التوزيع النمطي للفصل على طول وأسفل المنطقة المركزية للدراس والفصل في آلة حصاد ودراس دائرية مع محصول القمح.

(عن: Wang et al., 1987)

آلات الحصاد التقليدية والدورانية. ووجدوا أن فصل الحبوب هو دالة أسية لطول جهاز الفصل كما هو موضح في الشكلين رقمي (٩,٢٥) و(٩,٢٦). ولقد اقترح

(Reed) العلاقة التالية لفقد الحبوب في آلة الحصاد والدراس التقليدية :

$$GL = e^{-bL} \qquad (٩,٩)$$

حيث :

GL = فقد الحبوب

b = ثابت

L = طول الرداخ.

بمقارنة المعادلة رقم (٩,٨) بالمعادلة رقم (٩,٩) نجد أن المعادلتين متشابهتان وأن الثابت (k_1) له نفس المعنى مثل الثابت (b). ولهذا، يمكن إيجاد كفاءة جهاز الفصل وذلك بطرح قيمة فقد الحبوب من الواحد الصحيح ثم التعبير عن الناتج في صورة نسبة مئوية. ويمكن إيجاد طول الرداخ المقابل لكفاءة فصل تعادل ٥٠٪ كما يلي :

$$0.5 = e^{-bL_{1/2}}$$

أو

$$\ln(0.5) = -bL_{1/2}$$

أو

$$b = \frac{0.693}{L_{1/2}} \qquad (٩,١٠)$$

ويمكن إيجاد قيمة الثابت (b) من البيانات المعطاة في الشكل رقم (٩,٢٥). حيث تعتمد البيانات على معدل تغذية مواد غير الحبوب ونسبة مواد غير الحبوب إلى الحبوب. وعلى ذلك فقد تم استنباط المعادلة التالية لتقدير قيمة الثابت (b) :

$$b = 648.4\, M^{-1.296} \left(\frac{MOG}{Grain}\right)^{-0.662} \qquad (٩,١١)$$

حيث :

M = معدل تغذية مواد غير الحبوب، كجم/ د

MOG/grain = نسبة مواد غير الحبوب إلى الحبوب الموجودة في المحصول.

مثال رقم (٩,١)

آلة حصاد ودراس، مزودة برداخات طولها ٢,٤٤ م، تحصد القمح بمعدل تغذية ٩ طن/ س لمواد غير الحبوب. نسبة مواد غير الحبوب إلى الحبوب ٠,٨. احسب الفقد المتوقع للحبوب من جهاز الفصل، افترض أنه يتم فصل ٧٥٪ من الحبوب في جهاز الدراس.

الحل. تحسب قيمة الفقد من المعادلة رقم (٩,٩). ولكن يتم تقدير الثابت (b) أولاً من المعادلة رقم (٩,١١) كالتالي:

$$b = 648.4\ (150)^{-1.296}\ (0.8)^{-0.662} = 1.137\ m^{-1}$$

بالتعويض في المعادلة رقم (٩,٩) نحصل على:

$$\text{grain loss} = e^{-1.137}\ (2.44) = 0.0624 \cong 6\%$$

وحيث إن ٢٥٪ فقط من إجمالي كمية الحبوب تصل إلى جهاز الفصل ويتم فقد ٦٪ منها، يكون مقدار فقد الحبوب منسوبًا لإجمالي الحبوب الكلية مساويًا لـ ٠,٢٥ × ٠,٠٦ = ٠,٠١٥ أو ١,٥٪. وتعتبر هذه النسبة معقولة لفقد عملية الفصل.

الأداء. يقاس أداء جهاز الفصل بطريقتين. كفاءة الرداخ، وتقاس بنسبة فقد الحبوب، وسعة الرداخ، وتقاس بوحدات طن/ س لمعدل تغذية مواد غير الحبوب المرتبطة بنسبة معطاة لفقد الحبوب (عادة ١ أو ٢٪). وتحسب كفاءة الرداخ بقسمة كمية الحبوب المفصولة على كمية الحبوب الداخلة لجهاز الفصل ويعبر عنها كنسبة مئوية. وكمية الحبوب المتبقية مع القش الخارج من الآلة هي فواقد جهاز الفصل. وتفضل هذه الطريقة لمقارنة أداء الفصل لعدة آلات حصاد ودراس.

تتأثر عناصر أداء عملية الفصل لآلات الحصاد والدراس التقليدية بالعوامل

التالية :

١ ـ عوامل تصميمية.

(أ) طول الرداخ

(ب) سرعة المرفق ومقدار قذفه

٢ ـ عناصر التشغيل.

(أ) معدل تغذية المادة

(ب) ميل الرداخ

٣ ـ ظروف المحصول.

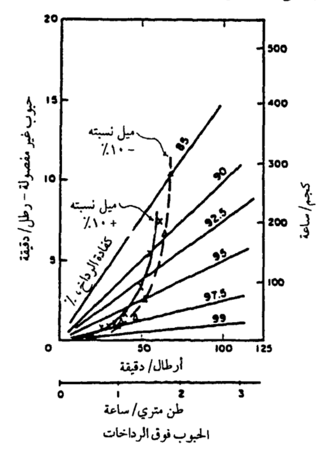
(أ) نسبة الحبوب إلى مواد غير الحبوب

(ب) الخواص الطبيعية والآلية للمحصول

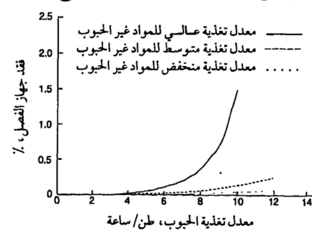
تأثير العوامل التصميمية. تم توضيح تأثير طول جهاز الفصل على أداء الجهاز في الجزء السابق. ويتم تصميم كل من حجم وسرعة عمود دوران الرداخات بحيث يتم الوصول إلى توليفة مثالية بين تقليب القش ومعدل مرور المحصول. وتعمل زيادة مقدار قذف المرفق على زيادة التقليب ولكن يكون ذلك على حساب زيادة متطلبات القدرة. كما تؤدي زيادة السرعة إلى زيادة معدل مرور المحصول ولكن قد لاتتاح فرصة كافية لفصل الحبوب من القش قبل خروجه من مؤخرة الآلة.

تأثير عناصر التشغيل. زيادة معدل تغذية مواد غير الحبوب للمحصول تزيد من فقد الحبوب بعلاقة أسية. ويجب المحافظة على توازن مقبول بين السعة وكمية فقد الحبوب. يوضح الشكل رقم (٢٧ , ٩) تأثير ميل سطح الأرض لأعلى ولأسفل على أداء جهاز الفصل. يلاحظ أن ميل سطح الأرض لأسفل يعطي نتائج أداء أفضل. ولقد وضح كل من (Hill and Frehlich, 1985) أن زيادة نسبة مواد غير الحبوب إلى الحبوب تؤدي إلى زيادة الفقد في جهاز الفصل بصورة شبه أسية وذلك للقمح والشعير كما هو موضح في الشكل رقم (٢٨ , ٩). أما بالنسبة للقمح، يؤدي تقليل نسبة مواد غير الحبوب إلى الحبوب من القيمة العظمى (٢ , ١) إلى القيمة المتوسطة (٨٥ , ٠) إلى تقليل متوسط فقد الرداخات من ٧٣ , ٠ إلى ٤٨ , ٠٪. كما

يؤدي تقليل النسبة من ٢,١ إلى ٠,٦٤٪ إلى انخفاض الفقد إلى أقل من ٠,٣٪.



شكل ٩,٢٧. تأثير ميل مقداره ١٠٪ على كفاءة الرداخ (عن: Reed et al., 1974)



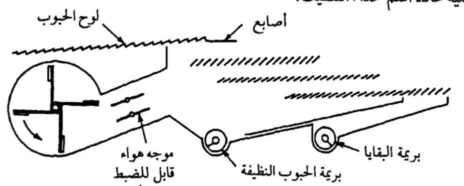
شكل ٩,٢٨. التأثير النمطي لنسبة مواد غير الحبوب إلى الحبوب على فقد الرداخ لمحصول القمح. (عن: Hill and Frehlich, 1985)

ويوحي ذلك بأن التحكم الدقيق في ارتفاع رأس حصد الحبوب لقطع السيقان أسفل السنابل مباشرة سوف يؤدي إلى تحسين أداء جهاز الفصل.

تأثير خواص المحصول. أوضح (Srivastava, 1990) أن كثافة وزاوية مكوث الحبوب وكثافة القش لها علاقة مباشرة على أداء جهاز الفصل أثناء حصاد القمح والشعير. وتؤدي زيادة كثافة الحبوب إلى زيادة سعة جهاز الفصل، بينما تؤدي زيادة زاوية مكوث الحبوب إلى تأثير عكسي. كما تتسبب زيادة كثافة القش في تقليل سعة جهاز الفصل.

٤,٢,٩ التنظيف

يعرف التنظيف على أنه العملية الأخيرة لفصل الحبوب من باقي أجزاء المحصول والتي تتكون أساسًا من العصافات وأجزاء القش المكسور. تتجمع الحبوب المفصولة من درفيل الدراس ومن وحدة الفصل على ناقل ترددي أو مجموعة من النواقل البريمية ومن ثم تغذية مخلوط الحبوب والعصافات إلى المنظف، الذي يطلق عليه عادة اسم حذاء التنظيف.

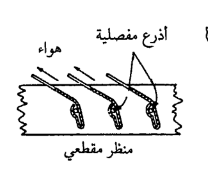


شكل ٩,٢٩. شكل تخطيطي لحذاء التنظيف موضحًا عليه موقع بريمة تغذية مخلوط الحبوب والعصافات. (عن: Deere and Co. © 1991)

الآليات. يوضح الشكل رقم (٩,٢٩) ترتيبًا شائعًا لحذاء التنظيف. وتتم عملية الفصل بتأثير الخواص الهوائية والآلية. ويتكون تصميم حذاء التنظيف من اثنين (أو ثلاثة) غرابيل ترددية ذات فتحات قابلة للضبط ومن مروحة ذات بدال لنفخ الهواء خلال فتحات الغرابيل. يتم إسقاط المحصول فوق الغربال العلوي

(غربال العصافات) وبالقرب من مقدمة الحذاء. فيتم نفخ العصافات بواسطة تيار الهواء وتسقط الحبوب خلال الفتحات فوق الغربال السفلي (غربال التنظيف). تكرر العملية مرة أخرى أثناء مرور الحبوب النظيفة خلال غربال التنظيف إلى بريمة الحبوب النظيفة لنقلها إلى خزان الحبوب. ويتم الفصل نتيجة الاختلاف في السرعة الحدية لكل من الحبوب ومادة العصافات. على سبيل المثال، تتراوح السرعة الحدية للقمح والشيلم والشعير من ٥ إلى ١٠ م/ ث بينما تتراوح السرعة الحدية لقطع القش من ٢ إلى ٦ م/ ث وللعصافات من ١,٥ إلى ٢,٥ م/ ث.

يتحرك الغربالان ترددياً في نفس الاتجاه أو عكس بعضهما من أجل اتزان أفضل. ويتراوح التردد من ٢٥٠ إلى ٣٢٥ دورة/ د. وتعتمد مساحة الغربال على عرض درفيل الدراس. وعموماً، تتراوح مساحة غربال العصافات من ١١٤ إلى ١٤٧ سم^{٢}/ سم من عرض الدرفيل وذلك للآلات ذات الغربالين. يوضح الشكل رقم (٩,٣٠) تصميماً لفتحات الغربال القابلة للضبط. حيث تدور الأطراف لفتح أو غلق الفتحات. والغربال السفلي ذو فتحات أضيق. مع الحبوب الصغيرة، يستبدل الغربال السفلي بغربال ذي فتحات مستديرة. أما الحبوب غير المدروسة، ويطلق عليها عادة اسم الرجيع، فهي كبيرة بحيث لاتمر خلال الفتحات وثقيلة بحيث لاتنفخ بالمروحة، فيتم انتقالها فوق غربال العصافات في اتجاه مؤخرة الآلة نتيجة للحركة الاهتزازية. ويتم تجميع الرجيع بواسطة ناقل ومن ثم نقلها إلى درفيل الدراس لإعادة دراسها مرة أخرى.



شكل ٩,٣٠. غربال العصافات القابل للضبط. (عن: Kepner et al., 1978)

تستخدم آلات الحصاد الدورانية نفس تصميم حذاء التنظيف الموجود في الآلات التقليدية. حيث توجد نواقل في الاتجاه الطولي أسفل الدرفيل لنقل مخلوط الحبوب والقش إلى طاولة الحبوب التي تتحرك اهتزازيًا لتغذية المخلوط إلى حذاء التنظيف. وفي بعض التصميمات الدورانية يتم توليد تيار هوائي خلال الدرفيل لفصل العصافات. وقد تعتبر هذه العملية بمثابة تنظيف أولي.

نظرية. لفهم النظرية التي تطبق على حذاء التنظيف فإنه من المفيد فحص مايحدث لمادة المحصول أثناء عملية التنظيف. حيث يتساقط مخلوط الحبوب والعصافات وقطع صغيرة من القش من فوق لوح الحبوب المهتز أو من الناقل فوق الجزء الأمامي من غربال العصافات. وبمجرد تساقط المخلوط يتم توجيه تيار شديد من الهواء بزاوية ٤٥° باتجاه مؤخرة الآلة. وتضبط سرعة الهواء بحيث يمكنه حمل معظم العصافات معه بينما تتساقط الحبوب وبعض العصافات فوق غربال العصافات. ويتعرض باقي مخلوط المحصول لحركة الهواء بالإضافة إلى الاهتزازات الآلية. وتتحرك وسادة المحصول باتجاه مؤخرة الآلة من فوق غربال العصافات نتيجة الاهتزازات. ويتسبب الهواء المار خلال وسادة المحصول في خلخلتها ومن ثم حملها بواسطة الهواء بينما تتساقط الحبوب إلى أسفل من خلال وسادة العصافات وقطع القش الصغيرة تحت تأثير الجاذبية الأرضية ثم تمر خلال الفتحات الموجودة في غربال العصافات. تتساقط الحبوب وجزء قليل من العصافات فوق غربال التنظيف حيث تتكرر العملية مرة أخرى. وعلى ذلك، فإن المبادىء النظرية المطبقة في عملية التنظيف هي:

١ ـ فصل بواسطة حركة الهواء اعتماداً على السرعات الحدية.
٢ ـ تحرك مادة المحصول فوق غربال العصافات.
٣ ـ تحرك الحبوب خلال وسادة من المحصول.
٤ ـ تحرر الحبوب وهروبها خلال فتحات غربال العصافات.

يعتمد الفصل بواسطة حركة الهواء على نقل العصافات والقش هوائيًا والتي تعتمد بدورها على السرعة الحدية ومعامل مقاومة الهواء لمختلف مكونات مخلوط

المحصول. وتعتمد حركة المحصول فوق غربال العصافات على نظرية النقل الاهتزازي. بينما تتم حركة الحبوب خلال العصافات والقش نتيجة الجاذبية وقوة المقاومة المتولدة من وسادة القش. بينما يعتمد هروب الحبوب خلال فتحات الغربال على نظرية الغرابيل والتي تعتمد بدورها على نظرية الاحتمالات.

النموذج الهوائي الذي نستعرضه الآن مبني على بحث مقدم من (Rumble and Lee, 1970) عن الفصل الهوائي. يطبق هذا النموذج على عملية الفصل التي تحدث بمجرد سقوط المحصول من فوق لوح الحبوب وتعرضه لتيار شديد من الهواء وحتى تحركه فوق الغربال العلوي. وقد استخدمت الفروض التالية:

١ ـ معامل مقاومة الهواء (الجرف) يكون مستقلاً عن سرعة الهواء.

٢ ـ تتعاجل الحبيبات كأجسام حرة وليست في صورة وسادة.

٣ ـ سرعة الهواء خلال الغربال العلوي ثابتة.

٤ ـ سريان الهواء فوق الشبكة العلوية سرياناً خطياً وموجه لأطراف فتحات الغربال العلوي.

بجمع القوى المؤثرة على الحبيبات في الاتجاه الرأسي نحصل على:

$$m\,a = F_g - F_d \qquad (٩,١٢)$$

حيث:

m = كتلة الحبيبة، كجم

a = تعاجل الحبيبة، م/ث^2

F_g = قوة الجاذبية المؤثرة على الحبيبة، نيوتن

F_d = قوة الجرف الهوائي المؤثر على الحبيبة، نيوتن.

يعبر عن قوة الجرف الهوائي كالتالي:

$$F_d = C_d\ v_y^2 \qquad (٩,١٣)$$

حيث :

C_d = معامل جرف الهواء

v_y = سرعة الحبيبات بالنسبة للهواء في الاتجاه الرأسي، م/ث.

عند السرعات الحدية تتساوى قوة جرف الهواء مع وزن الحبيبة، أو :

$$F_d = m\,g = C_d\ v_t^2 \qquad (٩,١٤)$$

حيث :

v_t = السرعة الحدية للحبيبة.

من المعادلتين السابقتين، يمكن حساب قوة جرف الهواء كما يلي :

$$F_d = mg\left(\frac{v_y}{v_t}\right)^2 \qquad (٩,١٥)$$

بالتعويض من المعادلة رقم (٩,١٥) في المعادلة رقم (٩,١٢) نحصل على المعادلة التالية :

$$\frac{d^2\,y}{d\,t^2} = g - g\left(\frac{v_y}{v_t}\right)^2 \qquad (٩,١٦)$$

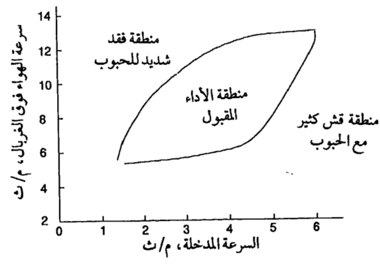
ويعطى التعاجل في الاتجاه الأفقي بالمعادلة التالية :

$$\frac{d^2\,x}{d\,t^2} = g\left(\frac{v_x}{v_t}\right)^2 \qquad (٩,١٧)$$

حيث : v_x سرعة الحبيبات بالنسبة للهواء في المستوى الأفقي، م/ث.

لاحظ أن $(v_x = (dx/dt)-v_{ax})$ وأن $(v_y = (dy/dt)-v_{ay})$ حيث (v_{ax}) و(v_{ay}) هي المركبات الأفقية والرأسية لسرعة الهواء.

المعادلتان السابقتان غير خطيتين وتتطلّبان حلاً رقميًا. قام (Rumble and Lee, 1970) بحل المعادلتين باستخدام الحاسب الآلي. وجاء الحل في جزءين. يرتبط الجزء الأول من الحل بالتساقط الحر للحبيبات من لوح الحبوب، بينما يعتمد الجزء الثاني من الحل على حركة الحبيبات إلى غربال العصافات. وبعد سقوط الحبيبة مسافة ١٧,٧٨ سم (٧ بوصات)، يبدأ تطبيق الحالة الثانية. ولقد اعتبر، بناء على التجارب، أنه سوف يحدث فقد زائد إذا تحركت الحبوب مسافة ٧,٦٢ سم (٣ بوصات) إلى مؤخرة الآلة دون أن تسقط فوق غربال العصافات. باستخدام هذه النتيجة كأساس، فقد طوروا النتائج كما هو موضح في الشكل رقم (٩,٣١). حيث يوضح المحور الأفقي السرعة الابتدائية لسقوط الحبوب. فإذا كانت السرعة الابتدائية صغيرة جداً فسوف تتحرك الحبوب مسافة أكبر في اتجاه مؤخرة الآلة وتنتهي كحبوب مفقودة. أما السرعات العالية جداً فتتسبب في زيادة كبيرة لسقوط العصافات فوق الشبكة والتي سوف تؤدي أيضًا إلى فقد الحبوب. ويوضح الشكل المنطقة المثالية للسرعات.



شكل ٩,٣١. نتائج محاكاة بالحاسب الآلي لحذاء التنظيف توضح التوليفة المقبولة للأداء بين الحبوب وسرعة الهواء.

(عن: Rumble and Lee, 1970)

الأداء. يمكن التعبير عن أداء حذاء التنظيف بالعبارات التالية :

١ ـ فقد الحبوب أو كفاءة التنظيف .

٢ ـ سعة جهاز التنظيف .

٣ ـ نقص الحبوب .

يحسب فقد الحبوب بإيجاد نسبة الحبوب المفقودة إلى إجمالي الحبوب الداخلة إلى حذاء التنظيف. تعرف كفاءة التنظيف بأنها كمية الحبوب المتجمعة بواسطة حذاء التنظيف. يمكن إيجاد سعة جهاز التنظيف برسم منحنى للعلاقة بين فقد الحبوب ومعدل تغذية مواد غير الحبوب لجهاز التنظيف المار خلال حذاء التنظيف . يتم توفيق منحنى للبيانات المتحصل عليها ، عادة في صورة دالة أسية ، ومن ثم تحسب سعة حذاء التنظيف والتي ترتبط بنسبة فقد معطاة. أما نقص الحبوب فهو كمية العصافات المفصولة مع الحبوب . ويقدَّر بأخذ عينة من الحبوب من خزان الحبوب بالآلة ثم تنظف العينة لتقدير نسبة العصافات بها.

يتأثر أداء حذاء التنظيف بالعوامل التالية :

١ ـ عوامل تصميمية .

(أ) مقاس الغربال

(ب) مدى الاهتزازات وتكرارها

٢ ـ عناصر التشغيل .

(أ) معدل تغذية المادة

(ب) ميل حذاء التنظيف

معدل سريان الهواء

٣ ـ ظروف المحصول .

(أ) نسبة الحبوب إلى مواد غير الحبوب

(ب) خواص المحصول

العوامل التصميمية. تعطي الغرابيل الأكثر طولاً زمن مكوث أطول، مما يتيح فصلاً تامًا للحبوب. إلا أنه توجد بعض الاعتبارات الطبيعية التي تحد من حجم

حذاء التنظيف. أوضحت الدراسات أن المسافة الأولى من الغربال لاتسهم كثيراً في عملية التنظيف. ويسمح الترتيب التعاقبي للغرابيل بتنظيف أكثر اكتمالاً مع المحافظة على قصر الغربال. وتحدد الاهتزازات وتكرارها مستوى التعاجل المنقول للمحصول. وهذا يحدد مستوى التقليب الضروري لتوليد أقل مقاومة لفصل الحبوب. كما يتحدد أيضًا معدل سريان المادة بتلك العوامل السابقة. وفي تقرير لـ(German and Lee, 1969) عن تأثير تكرار الاهتزازات على أداء حذاء التنظيف. تراوحت الاهتزازات المستخدمة من ٢٦٠ إلى ٤٦٠ دورة/ د. أدت زيادة الاهتزازات عن معدل تغذية ٩٠ كجم/ د إلى تقليل معنوي في فقد الحبوب. ومع ذلك، فلم يوصيا بزيادة الاهتزازات بسبب زيادة الاهتزازات الآلية.

ظروف التشغيل. قام (German and Lee, 1969) بدراسة تأثير حجم الهواء على أداء التنظيف. يجب أن يتلاءم حجم الهواء مع معدل التغذية. وقد قاما باستنباط علاقة بين حجم الهواء والشوائب التي وجدت في عينة الحبوب كما يلي:

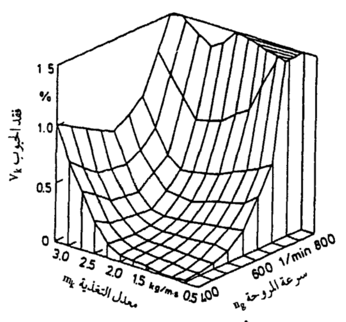
$$Z = 2 - 50 * 10^{-6} V + 0.4 * 10^{-9} V^2 \qquad (٩,١٨)$$

حيث:

Z = كمية الشوائب، كجم/ د

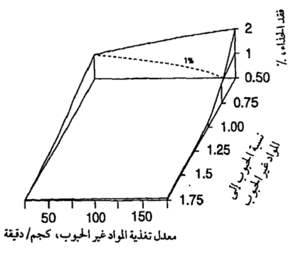
V = معدل سريان الهواء، م^3/ د.

في تقرير لـ(Bottinger and Kutzbach, 1987) عن تأثير سرعة المروحة ومعدل التغذية، النتائج موضحة في الشكل رقم (٩,٣٢). كما هو موضح في الشكل، يتزايد فقد الحبوب بصورة دالة شبه أسية مع زيادة كل من سرعة المروحة ومعدل التغذية، بينما وجد (Nyborg et al., 1969) أن فواقد التنظيف تتزايد بزيادة معدل تغذية مواد غير الحبوب ومع زيادة نسبة الحبوب إلى القش. والنتائج موضحة في الشكل رقم (٩,٣٣). وكما هو موضح في الشكل، يصبح تأثير معدل التغذية أكثر معنوية عند نسبة حبوب/ قش عالية وبالعكس. وتؤدي زيادة زاوية الأطراف من ٣٠° إلى٣٦°



شكل٩,٣٢ . مواصفات الأداء لحذاء التنظيف . (عن : Bottinger and Kutzbach,1987)

إلى تقليل فقد الحبوب طبقًا لدراسة قام بها (Lee and Winfield, 1969). ويرتبط تأثير زاوية الأطراف بصورة كبيرة ببعض العوامل الأخرى مثل معدل تغذية المادة.



شكل٩,٣٣ . سطح فواقد الحذاء لآلة حصاد ودراس قياسية مع القمح .

(عن : Nyborg et al., 1969)

خواص الحبوب. قام (Srivastava et al., 1990) بدراسة تأثير خواص العصافات والحبوب والقمح والشعير على سعة حذاء التنظيف. ووجدوا أن زاوية مكوث الحبوب لها تأثير سلبي على سعة المنظف. كما تؤدي زيادة احتكاك العصافات إلى تقليل السعة أيضًا. بينما تؤدي زيادة كثافة الحبوب إلى زيادة سعة المنظف. وأدت زيادة متوسط طول العصافات إلى تقليل سعة المنظف. كما أدت زيادة رطوبة كل من الحبوب والعصافات إلى تقليل سعة المنظف.

٩,٢,٥ متطلبات القدرة

توصل (Rotz et al., 1991) إلى طريقة مبسطة لتقدير متطلبات القدرة الدورانية للآلات الزراعية باستخدام المعادلة التالية:

$$P_r = a + c\,F \qquad (٩,١٩)$$

حيث:

P_r = القدرة الدورانية المطلوبة، كيلوواط

F = معدل مرور المادة، طن/ س

a, c = ثوابت خاصة بالآلة.

استخدم (a) يساوي ٢٠ كيلوواط و (c) يساوي ٣,٦ كيلوواط س/ طن لآلات الحصاد والدراس ذاتية الحركة الخاصة بالحبوب الصغيرة. يعتمد معدل سريان المادة على معدل سريان مواد غير الحبوب. لتقدير القدرة المطلوبة لحبوب الذرة استخدم (a) يساوي ٣٥ك.واط و (c) يساوي ١,٦ كيلوواط س/ طن. ويعتمد معدل مرور الذرة على معدل سريان الحبوب. لآلات الحصاد والدراس التي تدار بواسطة عمود مأخذ القدرة، يجب تقليل قيمة (a) بمقدار ١٠ كيلوواط. ومن المتوقع حدوث اختلافات في حدود ٥٠٪ في قيمة الثابت (c) اعتمادًا على ظروف المحصول والحصاد.

إذا وضعت (F) مساوية للصفر، يمكن استخدام المعادلة رقم (٩,١٩) لتقدير

قدرة اللاحمل أو القدرة الدافعة. بصفة عامة يستهلك درفيل الدراس جزءاً كبيراً من القدرة الكلية. ومتطلبات القدرة لوحدات الفصل والتنظيف صغيرة ولا تعتمد نسبيًا على معدل سريان المادة. قد تكون هناك حاجة لقدرة عالية لفترة وجيزة لدرفيل الدراس قد تصل إلى مايتراوح بين مثلي وثلاثة أمثال المتطلبات المتوسطة.

٩,٣ اختبار آلة الحصاد والدراس

يهدف اختبار آلة الحصاد والدراس إلى إيجاد خصائص الأداء لمكوناتها الوظيفية، متطلبات القدرة، ومقدرتها على التحمل. وسوف يناقش في هذا الجزء اختبار المكونات (الوظائف). ويرجع الهدف من اختبار المكونات التشغيلية إلى تقدير فقد الحبوب والسعة. ويوضع فقد الحبوب كنسبة مئوية من إجمالي كمية الحبوب الداخلة إلى الآلة. ويتم التعبير عن السعة لأي مكون تشغيلي بوحدات معدل تغذية مواد غير الحبوب بوحدات طن/ساعة والمارة خلال تلك الوحدة التشغيلية وعند مستوى محدد لفقد الحبوب. يتم اختبار آلة الحصاد في الحقل أو المعمل. ويتميز الاختبار المعملي بتجانس المحصول والتحكم الأفضل في ظروف الاختبار. إلا أنه يجب تخزين المحصول ويسبب ذلك تغيراً في خواصه مما يؤثر على مواصفات الأداء للوحدة المختبرة. ويجب أن يراعي القائم على هذا الاختبار هذه النقطة.

تقسم فواقد آلة الحصاد والدراس إلى الأقسام التالية:

فواقد المقدمة. وتشمل فواقد الرقاد والتساقط وقضيب القطع. ويعتبر المحصول الراقد الذي لايقطع بقضيب القطع فاقد رقاد. أما فواقد التساقط فهي الحبوب التي تقع على الأرض مثل تساقط رؤوس الحبوب نتيجة التصادم مع المضرب. وفواقد قضيب القطع هي رؤوس الحبوب (السنابل) التي تقع على الأرض ولاتسقط داخل المقدمة بعد قطعها. ويعبر عن فواقد المقدمة بوحدات كجم/هـ أو كنسبة مئوية من إنتاجية المحصول. ولإيجاد فواقد المقدمة، تُسير الآلة في الحقل، وعند الوصول إلى حالة تشغيل مستقرة، توقف الآلة. ثم ترجع إلى الخلف مسافة تقل عن أو تساوي المسافة الطولية بين قضيب القطع وفتحة طرد القش بالمؤخرة. تحدد مساحة على الأرض لأخذ العينة أمام الآلة ثم تجمع الفواقد من هذه المساحة. تصنف

السنابل غير المقطوعة من المحصول كفواقد رقاد. والحبوب المفرطة تعتبر فواقد تساقط بينما تعتبر الرؤوس المقطوعة فواقد قضيب القطع.

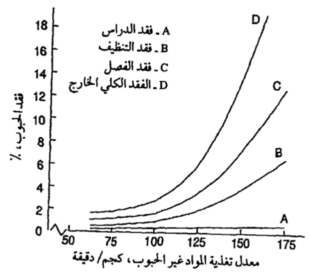
فواقد الدراس. وهي عبارة عن رؤوس الحبوب غير المدروسة التي سقطت على الأرض من مؤخرة الآلة مع القش ويعبر عنها كنسبة مئوية من كمية الحبوب الداخلة للآلة.

فواقد الفصل. يطلق عليها أيضًا اسم فواقد الرداخات وفي الآلات التقليدية هي الحبوب المفقودة مع القش ويعبر عنها كنسبة مئوية من إجمالي الحبوب الداخلة للآلة.

فواقد التنظيف. يطلق عليها أيضًا اسم فواقد حذاء التنظيف وهي كمية الحبوب المفقودة مع العصافات ويعبر عنها كنسبة مئوية من إجمالي الحبوب الداخلة للآلة.

يطلق على فواقد الدراس والفصل والتنظيف اسم فواقد التفريغ (أو التصريف). وتتأثر هذه الفواقد بمعدل سريان مواد غير الحبوب المارة في الآلة. ويطلق على المنحنى الممثل للعلاقة بين معدلات مختلفة من معدل تغذية مواد غير الحبوب وبين هذه الفواقد اسم منحنى أداء الآلة. وتكون سعة أي وحدة تشغيلية عبارة عن معدل تغذية مواد غير الحبوب عند مستوى فقد معين. ومستويات الفقد كما يلي ١ أو ٢٪ لسعة جهاز الفصل و٥ , ٠ أو ١٪ لسعة جهاز التنظيف.

لإيجاد فواقد التفريغ (التصريف) في الحقل، يتم جمع الخارج من جهاز الفصل وجهاز التنظيف كل على حدة. وأسهل طريقة لتجميع العينة هي تعليق كيس قماش عند مكان مناسب لفتحات الطرد في مؤخرة الآلة. تسير الآلة في الحقل وعند الوصول إلى حالة تشغيلية مستقرة يفتح الكيس لجمع العينة. وفي نفس الوقت تأخذ عينة من الحبوب المتجمعة في خزان الحبوب. وبعد امتلاء الكيس يتم غلقه ويتم تسجيل زمن أخذ العينة. توزن العينة ومن ثم يتحدد معدل تغذية مواد غير الحبوب. تفصل الحبوب التي جمعت مع مواد غير الحبوب وتقدر نسبتها المئوية. يتم تكرار التجربة عدة مرات عند سرعات أمامية مختلفة للآلة ثم يرسم منحنى مشابه للشكل رقم (٩,٣٤). ولتقدير فواقد الدراس يتم إعادة دراس مواد غير الحبوب المتجمعة من



شكل ٩,٣٤. منحنيات الأداء النمطية لآلة حصاد ودراس.

جهاز الفصل في آلة دراس ثابتة بعد تقدير فواقد جهاز الفصل. ثم تفصل الحبوب من الجزء الذي أعيد دراسه لإيجاد فواقد درفيل الدراس. ويتم في المعتاد رسم فواقد الفصل والتنظيف مقابل معدل تغذية مواد غير الحبوب الخاص بهما وليس مع معدل تغذية مواد غير الحبوب الإجمالية للآلة. من الضروري تحديد المعدل لكل حالة لمواد غير الحبوب لجهاز الفصل (في الغالب قش) ومعدل مواد غير الحبوب لجهاز التنظيف (في الغالب عصافات). ولقد طور العديد من صانعي الآلات طرقًا آلية لرسم منحنيات الفقد بصورة توفر قدراً كبيراً من الوقت وتزيد من دقة التقدير (القياس).

تمارين على الفصل التاسع

١ , ٩ جمعت البيانات التالية في اختبار حقلي أثناء حصاد الشعير بآلة حصاد ودراس ذاتية الحركة عرض تشغيلها ٤ م، وطول مسافة الاختبار ١٢ متراً، والزمن ٣ , ٢١ ث، ووزن المادة الكلية على الرداخات ٤ , ٩ كجم، ووزن الحبوب الحرة (السائبة) على الرداخات ٧٦ جم، ووزن الحبوب غير المدروسة على الرداخات ٦٠ جم، ووزن المادة الكلية على حذاء التنظيف ٤ , ٤ كجم، ووزن الحبوب السائبة فوق

الحذاء ٢٨٩ جم، ووزن الحبوب غير المدروسة فوق الحذاء ٨١ جم، والوزن الكلي للحبوب المتحصل عليها بخزان الحبوب ٦ , ١٧ كجم. وكان متوسط فواقد الجمع ٢ , ١٠ جم/ م^{٢}. احسب: (أ) فواقد الدرفيل، والرداخ، والحذاء، ومجموع فواقد العمليات كنسبة مئوية من المعدل الكلي لتغذية الحبوب. (ب) الإنتاجية الكلية، وفواقد الجمع وفواقد العمليات بوحدات كجم/ هـ. (جـ) فواقد الجمع كنسبة مئوية من الإنتاجية الكلية. (د) معدل تغذية مواد غير الحبوب في الرداخ، والحذاء، وإجمالي معدل تغذية مواد غير الحبوب بوحدات طن/ هـ.

٢ , ٩ للحالة التي وضعت في التمرين رقم (١ , ٩)، ماهو الطول المتاح لجهاز الفصل إذا كانت فواقد الفصل أقل من ١٪؟ هل يكون هذا الطول عمليًا؟ ماهي الوسائل الأخرى المتوفرة لديك لتقليل الفواقد إذا استخدم نفس جهاز الفصل؟

٣ , ٩ اذكر الأسباب الممكنة وعلاجها لكل من الحالات التالية لفواقد آلة الحصاد والدراس: (أ) زيادة في فواقد المقدمة. (ب) زيادة في كمية الحبوب غير المدروسة. (جـ) وجود حبوب مكسورة. (د) زيادة في كمية الحبوب المفقودة فوق جهاز الفصل. (هـ) زيادة كمية العصافات في خزان الحبوب. (و) زيادة في فقد الحبوب النظيفة.

٤ , ٩ افترض أنك المهندس المسؤول عن اختبار مقارنة الأداء الوظيفي لآلة حصاد ودراس جديدة مع آلة قياسية. ضع برنامجًا مفصلاً للاختبار يمكن اتباعه.

الفصل العاشر

حصاد الفاكهة، النُقْل، والخضار

Fruit, Nut, and Vegetable Harvesting

مقدمة

لتقدير التعقيدات الهندسية لمنظومات الحصاد الحقلي للفاكهة، النُقْل، والخضار، ما على الشخص إلا التجول في ممرات الأسواق المركزية المتطوّرة. ففي قسم البضائع الطازجة، تكون الفواكه، النُقْل والخضراوات إما حديثة الحصاد أو محفوظة بصورة طازجة عن طريق وسائل خاصة لإطالة فترة التخزين. ويحوي قسم المواد المعلبة على فواكه وخضراوات معالجة لضمان فترة العرض لسنة أو أكثر. وتعرض في ممرات المعلبات الزجاجية مجموعة أكبر من المنتجات. وتتوفر الفواكه والخضراوات المجمدة في عديد من الأشكال الطازجة والمجمدة والمعالجة. ومن الطريف، وجود بعض البضائع في أكثر من قسم. هذه الحقيقة ليست اعتيادية من وجهة نظر المستهلك، ولكنها تعتمد على القسم الذي تسوّق فيه البضاعة، وتحتاج أحيانًا إلى نظام حصاد مختلف تمامًا. فعلى سبيل المثال، سوف يوجد الخوخ المحصود يدويًا في قسم المنتج الطازج ولكن ربما يوجد المحصود آليًا في قسم شرائح الخوخ الطازجة المجمدة، أنصاف الخوخ المعلبة، أو منتجات مربى الخوخ.

سوف يشرح في هذا الفصل المبادىء الأساسية للحصاد الآلي للفواكه والخضراوات والنُقْل عن طريق اختبار عينة حديثة من براءات الاختراع الأمريكية في

مجال الحصاد الآلي. بينما تستخدم بعض نماذج براءات الاختراع فقط، فإن الطالب سوف يتعرف على الصور الفريدة من هذه النماذج. ولن تعرض هنا التفاصيل الكاملة لبراءات الإختراع. فكل البراءات المستشهد بها في هذا الفصل موضوعة ضمن قائمة في قسم مراجع البراءات (ملحق أ، صفحة ٧٢٩). ويستطيع الطلبة الراغبون في دراسة مزيد من هذه البراءات أن يجدوا نسخًا من الميكروفيلم لجميع البراءات في مكتبات إيداع البراءات المتوفرة في الدولة والمختارة لهذا الغرض بواسطة مكتب العلامات المسجلة للبراءات في الولايات المتحدة الأمريكية (PTO, Washington, DC.). ويمكن الحصول على نسخ ورقية من براءات محددة بتكلفة زهيدة عن طريق الكتابة لـ (PTO). وهكذا، فإن الهدف الثانوي التعليمي للفصل العاشر يكمن في تعريف الطالب بنشرات البراءة وللقيمة الفريدة لهذه المطبوعات لتمد الطالب بالجانب التطبيقي لآليات الحصاد.

١٠,١,١ القيود الطبيعية

ليس المستهلك وحده الذي يطالب بمزيد من اختيارات المنتج في صور مختلفة، ولكن تحتوي الطبيعة على مزيد من القيود على الحصاد عن طريق فرض متغيرات الحجم ومرحلة النضج. على سبيل المثال، سوف تستمر بعض أصناف العنب في الإزهار طوال موسم النمو، لذلك ففي آخر الموسم، عند وقت الحصاد فإن أشجار العنب سوف تحوي براعم زهور حديثة التفتح، وفاكهة خضراء في مراحل مختلفة من النمو، وأعنابًا كبيرة الحجم في مراحل متعددة من النضج. كذلك سوف تستمر أيضًا البطاطا السكرية في النمو ويزداد حجم الجذور حتى يتم فصل الجزء العلوي (الخضري) إما بواسطة الحش أو تجمد الخريف الشديد. ويجب أن تكون أنظمة الحصاد قادرة في بعض الحالات على التلاؤم مع الاختلافات الكبيرة في حجم ونضج المنتج.

إن من الأهمية إدراك أن اختيار الحصاد لمرة واحدة أو مرتين يكون غالبًا قيدًا أساسيًا وطبيعيًا للسلع. ففي بعض الحالات، مثل الطماطم، أدت التعديلات الجينية إلى الحصول على نضج متساو لتسهيل الحصاد الآلي للحقل (Hightower, 1972).

ويتم اختيار المواد النباتية لقدرتها على التوافق في مراحل النضج، وبالتالي يتم الحصول على نسبة عالية من المنتج الناضج من أجل الحصاد لمرة واحدة. أيضًا، يختار مربي النبات الصفات التي تعزز قدرة الحصاد الآلية مثل الصلابة ومقاومة الكدمات.

ينتج المنتج الغذائي غالبًا من المحاصيل التي تُنتج لمرة واحدة فقط في السنة في الدورة الطبيعية السنوية في البيئة الطبيعية. ويمكن إنتاج بعض محاصيل الغذاء في دورات متكررة في السنة. إن ميزة اختلاف المناخ في الولايات المتحدة الأمريكية تؤدي إلى إنتاج غذاء بزيادة أو نقصان باستمرا ر خلال العام، كذلك إنتاج الغذاء العالمي له ميزة أن هناك تغيرات مناخية وفصلية تؤدي إلى إنتاج غذاء بزيادة أو نقصان باستمرار خلال العام. ومع هذا، في أي موقع معين، نجد أن كل منتج ينتج تجاريًا يسبب فعالية مكثفة للحصاد خلال مدة محددة. وقد يؤدي توقيت الحصاد اللازم لضمان أفضل نوعية للمنتج إلى تكثيف عملية الحصاد. وتحتاج هذه الفترة المكثفة من الحصاد لمنظومات حصاد عالية السعة وذات اعتمادية مرتفعة.

٢,١,١٠ القيود الاقتصادية

يمكن النظر إلى حصاد الفواكه، النُقْل والخضراوات على أنه عملية ذات قيمة مضافة. وبصورة أخرى، يجب أن ينظر المزارع إلى فرص تسويق المحصول عند الحصاد لضمان أقصى مردود اقتصادي للمشروع. ويؤدي هذا التقييم أحيانًا إلى الاختيار بين الأسواق الطازجة أو المعالجة. وتملي في الغالب صعوبة العلاقات الداخلية بين نظام الحصاد المستخدم وعمر المنتج الطازج المعروض عبر استخدام طرق الحصاد اليدوي للمنتجات المراد بها السوق الطازجة. والحصاد اليدوي عامل مهم لمنظومة إنتاج الغذاء وسوف يستمر في المشاريع المنتجة طالما وجد دعمًا من المستهلكين للقيمة الإضافية في السعر.

إن من الأهمية إدراك أن نتائج الحصاد الآلي لأي من منتجات الفاكهة، النُقْل والخضر ينشأ فقط بعد أن يتم إنتاج المنتج (ويحصد يدويًا) بكميات ضخمة قياسية. وطالما زادت أهمية (وحجم) المنتج، فإنه توجد غالبًا مبررات اقتصادية لاستبدال

الحصاد اليدوي بالأساليب الآلية، بفرض أن نوعية المنتج وإمكانية التسويق لن تتغير. بديهيًا، سيؤدي ذلك إلى تحرك العمالة اليدوية إلى بعض المنتجات الأقل أهمية وتتكرر الدورة. إن الأكثر أهمية هو فهم أن كثيراً من طرق الحصاد الآلي الناجحة المستخدمة هذه الأيام صُممت خصيصًا لمحاكاة الحصاد اليدوي.

٢,١٠ العمليات الوظيفية

قبل التوضيح المفصل لأهمية عمليات الحصاد الوظيفية، فإنه من المهم تقدير علاقاتها المتداخلة. وبما أن الفصل، والتحكم، والاختيار، والنقل هي العمليات الوظيفية الضرورية لآلة الحصاد، فإن ترتيب الوظائف المتحصل عليها يقدر بواسطة متطلبات الحصاد لمنتج معين. على سبيل المثال، فإن الحصاد اليدوي يبدأ غالبًا بالاختيار. حيث توجه اليد إلى الهدف المحدد بصريًا بعد حدوث التحكم. ويتم بعد ذلك على النزع بواسطة القطع، والشد، واللف أو حركة دورانية لفصل الهدف من النبات الأصلي. بعد القطف، يوضع الهدف المحصود يدويًا بعناية (إن شاءالله) في وعاء نقل مناسب. وفي أنظمة الحصاد الآلي، كمثال آخر، نادراً مايتم القطف باختيار معين، وهكذا تتحقق عملية الاختياربعد القطف في صورة عملية فرز، إما كجزء من عملية الحصاد الحقلي أو في بعض العمليات المتأخرة، والفرز، والتنظيف، والتدريج، أو عملية التعبئة.

بمعلومية العمليات الوظيفية الأربع المذكورة أعلاه، فإنه من الواضح وجود أساليب عدة، ٢٤ (مضروب ٤ !) احتمالاً لترتيب الوظائف للتأثير على عملية الحصاد الحقلي. ورغم إمكانية ظهور توليفات غير عملية من هذه الوظائف، فالحقيقة أن التوليفات الموجودة تتيح للمهندس المتمرس الفرصة لاكتشاف بدائل للتصميم (غير واضحة). ويمكن أن تكون هذه القائمة من بدائل التصميم أداة مهمة في فهم وتصنيف آليات الحصاد الموجودة.

١٠,٢,١ الفصل (القطف)

الفصل كما عرف سابقًا هو القطف الحقيقي للجزء المراد حصاده من الشجرة الأصلية. وتطبيقات الطاقة ضرورية لتحقيق هذه النتيجة. وتمثل الطريقة التي تطبق فيها هذه الطاقة اعتباراً هامًا باعتمادها على المنتج موضع الاعتبار. ويحتاج فصل الارتباط إلى ضرورة تجاوز حدود الإجهاد النهائي، الشد أو قوة القص. ويمكن أن يؤثر تطبيق طاقة الفصل على واحد أو أكثر من هذه الاحتمالات. كما يمكن توصيل طاقة الفصل اللازمة عن طريق التطبيق المباشر للقوة إلى الجزء المحصود أو غير المباشر كرد فعل لقوى القصور الذاتي للارتباط كنتيجة للفرق في التسارع النسبي. ويؤثر الحصاد اليدوي أو الآلي على التحكم في الجزء المحصود ومن ثم بذل القوة الضرورية للفصل. وفي المقابل، تتسبب قوى القصور الذاتي في القطف بواسطة تسارع حامل الجزء الموصل بعيداً عن الجزء المحصود. وفي بعض الحالات، يمكن أن يكون القص أفضل طرق الفصل. والتطبيق المباشر لقوى القص الضرورية يعتبر أسلوبًا فعالاً لاستخدام الطاقة في القطف (Persson, 1987). وعادة مايوظف القطع فقط بعد حدوث التحكم. ويكون التحكم في معظم الحالات محدوداً في أجزاء الآلة المتصلة بأجزاء النبات وعليه يكون موقع نقطة الارتباط أو المنطقة معروفًا. وفي بعض الحالات، يكون التحكم ضمنيًا بسبب أن عدم الانتظامية من نبات إلى آخر صغير جد ويمكن فرض موقع الارتباط بدرجة عالية من الدقة.

وينتج تطبيق طاقة القصور عادة من تسارع مواد النبات مع أجزاء الآلة بالنمط والتردد الذي يكون مختاراً لمنتج معين. وإذا كانت نقطة التطبيق للطاقة الكامنة هي جذع أو فرع من الشجرة، فيجب التنفيذ بعناية لتقليل احتمالات تلف الأنسجة السفلية للنبات. فعندما تتصل أجزاء الآلة مباشرة مع المنتج المراد حصاده، فدائمًا يكون احتمال إصابة المنتج قائمًا.

ومن الشائع تصميم هزازات القصور الذاتي على صورة مرفق انزلاقي آلي، دوران كتلتين عكسيًا من مركز دوران واحد، أو حركة مركبة لكتلتين بندوليًا. ويمكن تصميم هزازات بثلاث كتل تدور تزامنيًا لتحدث أنواعًا واسعة من أنماط الهز. وسوف نعرض التحليل الحركي للهزاز ذي الكتلة الدورانية كمثال.

١٠,٢,٢ التحكم

يُحتاج في الغالب إلى أسطح ماسكة لكسب أو المحافظة على التحكم في المنتج أثناء عمليات الحصاد. وبالرغم من أن الوسائد مرغوبة لتقليل احتمالات تلف المنتج، إلا أن اختيار مواد الوسائل ضروري. فالمواد الجيدة تجعل الوسائد تمتص طاقة صدمات المنتج، ومن السهل إبقاؤها نظيفة، ومتينة. وتستخدم الأسطح الماسكة والمنظومات الخاصة في حصاد كثير من الشجيرات، التعريشات، ومحاصيل الأشجار.

وإذا أمكن تلامس المنتج بأجزاء الآلة قبل القطف، فإن العمليات التالية تكون أبسط في الغالب. في حصاد العنب، على سبيل المثال، يدخل صف النباتات إلى آلة الحصاد حيث يحدث الاتصال، والفصل، والتحكم في المنتج في نفس الوقت تقريبًا وفي نفس المساحة. وبتوجيه طاقة الفصل في آلة حصاد العنب، يمكن التحكم في سريان المنتج المحصود بواسطة النواقل التي سوف تحرك المنتج إلى وسيلة النقل.

وتتداخل في الغالب وظائف الحصاد مع بعضها. فعلى سبيل المثال، إذا استخدم الفصل الكامن بواسطة التداخل مع مادة النبات، عند ذلك، فالفاكهة المفصولة تملك طاقة حركية مشتركة دائمًا. وعندئذ يكون المنتج المحصود مفصولاً ومتحركًا، لذلك يصعب إعادة تأسيس التحكم فيها. وبفرض عدم استخدام الفصل الكامن ، فإنه يمكن الحصول على فرص أفضل لكسب أو للمحافظة على التحكم في المنتج.

١٠,٢,٣ الاختيار

بشكل عام، الاختيار هو الوظيفة التي يتم فيها تمييز المنتج الناضج، ذي الحجم المناسب، أو المرغوب فيه من إجمالي كمية منتجة من النبات، في حين يرفض المتبقي. ويبدو هذا تافهًا من الأساس. ومع هذا، فإن تصميم آليات قادرة على تنفيذ أوامر الاختيار المعقدة ليس سهل التطبيق وليس مشجعًا اقتصاديًا. وغالبًا ستوفر وسائل اختيار مبسطة ذات دفع هواء درجة عالية من الفاعلية مع تقليل صعوبات التنفيذ. وعلى سبيل المثال، لايكون هذا مفاجئًا عندما يلاحظ اختلاف

كبير الخاصية الأيروديناميا (الحركية للهواء) بين المنتج المحصود والأوراق. ويمكن الحصول على التصميم الفاعل لشبه منظومات الفصل الهوائية بواسطة فهم السرعات الطرفية الموجودة عادةً في حقل لسريان الهواء المضطرب.

يكون الحجم أو التماثل في الحجم مشتركًا غالبًا في نوعية المنتج. ونادراً يتم تجهيز آلات الحصاد للحصول على التدريج الحجمي في الحقل. وقد يزيد ذلك من التعقيد غير الضروري لوظائف الحصاد والذي ينتج عنها الحاجة لنقل أحجام متعددة.

إن نضج المنتج عامل مهم يحتاج إلى عناية خاصة، خاصة في المسار المتعدد لمنظومات الحصاد. مثاليًا، يتم حصاد جميع المنتج الناضج (المنتج الناضج فقط) خلال أي فترة حصاد واحدة. وهذا مهم لأن المنتج الناضج غير المحصود سوف يحصد في الحصدات التالية وذلك بعد تعديه مرحلة النضج. ويقلل المنتج المحصود غير الناضج وبدون ضرورة من المحصول المتوفر في عمليات الحصاد التالية. حالما يتم الحصاد، فإنه يجب فصل المنتج المتعدي مرحلة النضج وغير الناضج من المنتج القابل للتسويق، ويكون من السهل تفادي العوائق. مرة أخرى تحتاج منظومات الحصاد لمرة واحدة إلى تقدير هذه العوامل لأن التوقيت الدقيق للحصاد خاضع للعوامل البستانية والجوية.

٤,٢,١٠ النقل

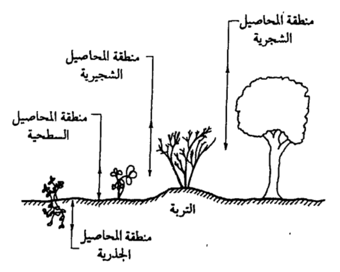
تفضل منظومات النقل الكلية عندما تسمح اعتبارات المنتج بذلك. ففي كثير من الحالات، تقوم كثير من الشاحنات بنقل المنتجات مثل: الطماطم، وحزم الخس، والفاصوليا الخضراء، والبصل، والبطاطا السكرية، وعنب العصائر، و تفاح العصير، والبطاطس من الحقل إلى مراكز البيع بالجملة أو مراكز المعالجة التسويقية.

ويمكن نقل الحاويات ذات الأحجام القياسية [والمواصفة القياسية للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم (ASAE S 337.1)] بواسطة أجهزة الرفع بالشوكة وتكون مناسبة عندما تكون العمليات في المزرعة مقيدة بحجم صناديق التعبئة. في العمليات الصغيرة، تكون أساليب النقل الشائعة للمنتجات في أحجام صغيرة

وأصغر مقاسًا، حيث تحوي أوعية النقل حوالي ١٥ إلى ٢٥ كيلوجرامًا من المنتج. وتصمم هذه الأوعية في الغالب من الخشب أو البلاستيك وتوفر طريقة مهمة للنقل لسنوات عديدة. ويقوم كثير من منظومات الحصاد بالتعبئة المباشرة للأوعية في آلة الحصاد.

١٠,٣ الطرق والمعدات

بإعطاء التنوع في محاصيل الفاكهة، والنُقْل والخضار للاستهلاك الآدمي، فلن يكون مستغربًا صعوبة تقسيم منظومات الحصاد إلى مجاميع صغيرة. وبشكل عام، سوف تصنف طرق الحصاد بواسطة الموقع الفيزيائي الذي يوجد فيه الجزء المراد حصاده من المحصول. يوضح الشكل رقم (١٠,١) مناطق الإنتاج المرغوب فيها. إن موقع سطح التربة من غير شك يكون معروفًا تمامًا بزيادة أو نقصان، ولكن الانتقال بين محاصيل المنطقة السطحية والمناطق الشجيرية والتعريشية لاتكون واضحة تمامًا في الغالب. على سبيل المثال، ينمو الطماطم كمحصول سطحي وأيضًا كمحصول تعريشي مدعوم على المواد خشبية. وينمو التوت الأزرق على السطح (الأصناف منخفضة الشجيرة)، وكشجيرة (الأصناف عالية الشجيرة) وكأشجار صغيرة (الأصناف الناضجة).



شكل ١٠,١. توضيح لمناطق الإنتاج العامة المرغوب فيها.

وبرغم انتماء بعض المنتجات إلى أكثر من منطقة حصاد حسب التصنيف، فمن الأهمية إدراك أن فاعلية الحصاد تتكيف مع منطقة الحصاد بشكل عام. وتحصد المحاصيل السطحية عادة مرة واحدة. وهذا بالتأكيد صحيح لمعظم الطماطم المعالجة والتوت الأزرق منخفض الشجيرة. ويحصد التوت الأزرق الشجيري والطماطم التعريشية للأسواق الطازجة باليد عدة مرات خلال الموسم. ويحصد الفول السوداني بطرق شائعة للمحاصيل الجذرية، برغم أنه ليس محصولاً نباتيًا جذريًا. وهكذا، فإن استعراضًا كاملاً لطرق ومعدات الحصاد سوف تؤخذ في الاعتبار بكل مناطق الحصاد العمومية الأربع. ويعرض الشكل رقم (١ , ١٠) التداخل العام لمناطق حصاد المحاصيل الجذرية، والسطحية، والشجيرية، والأشجار.

وأخيراً، فإن عرض التحليل العملي الهندسي الكامل والشامل لكل منظومة حصاد يستخدم في حقول إنتاج الغذاء الزراعي خارج عن نطاق هذا الكتاب. علاوة على ذلك، يعتمد التغير في درجة المكننة لمنتجات معينة على العوامل الاقتصادية ودرجة الصعوبة في الآليات الهندسية لتحقيق عمليات الحصاد. ومع هذا، سوف يعرض عدد محدد من العمليات النظرية لأساسيات الحصاد في آخر هذا الفصل.

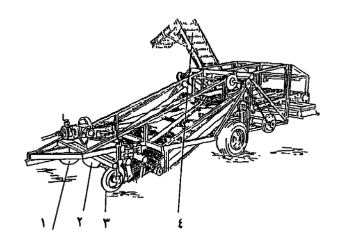
سوف تستخدم تقارير البراءة الأمريكية الحديثة لتوضيح أمثلة على منظومات الحصاد وتقويم مكونات الحصاد المهمة لكل منطقة حصاد. وسوف تشرح وتحلل وظيفيًا الأساسيات المستخدمة بواسطة هذه المنظومات من نظرة هندسية. (O'Brien, Cargill, and Fridley, 1983)، ونشرة الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم-5 (84, 1984، و (Cargill and Rossmiller, 1969)، و(Ag Eng, 1988) تعتبر أفضل ثلاثة مراجع على مستوى المكننة العالمية الواسعة لحصاد الفاكهة، والخضر، والنُقْل.

١ ,٣ ,١٠ المحاصيل الجذرية

المحاصيل الجذرية الأساسية النامية في الولايات المتحدة الأمريكية هي: الجزر، وبنجر السكر، والبصل، والفول السوداني، والبطاطس، والبطاطا السكرية. والمحاصيل الجذرية الثانوية النامية في الولايات المتحدة الأمريكية هي: الفجل، واللفت الأخضر، واللفت. وينمو كل من هذه المحاصيل في صفوف على

أن يكون متوسط المسافة البينية داخل الصف والمسافات بين الصفوف ذاتها خاصية محصولية.

حصاد المحاصيل الجذرية (في مجاميع). لقد تم حصاد البطاطس تجاريًا بواسطة الحصاد في مجاميع. عمليًا، تقوم هذه الآلات بجرف كميات ضخمة نسبيًا من التربة المحتوية على الجذور المراد حصادها. ولقد صممت الآلة المعروضة في الشكل رقم(٢ , ١٠) لفصل هذه الكميات الضخمة من التربة من البطاطس. وفي الأساس، تتحرك الآلة خلال حجم محدد من التربة وتتصل مع المنتج بواسطة تمييز موقع المنتج في حجم التربة المعالجة. ويحدد الحجم الحقيقي المعالج في آلة ذات صفين بواسطة ألواح القص الأفقية (٢) وسكاكين القص العمودية (١ , ٣). ومن خلال الحركة الأمامية لآلة الحصاد، فإن كمية محددة من التربة المحتوية على البطاطس المراد حصادها بالإضافة إلى التربة المحيطة بها وأجزاء النبات الواقعة فوق التربة تدخل الآلة. ومن الممكن أن تزال أجزاء النبات الواقعة فوق التربة قبل عملية الجرف مثل طريقة حصاد الفول السوداني الأخضر الموضحة في موقع لاحق من هذا الفصل.

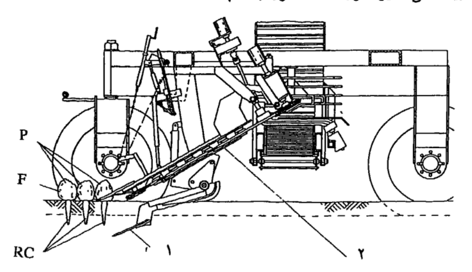


شكل ٢ ,١٠. آلة حصاد محصول جذري.

(عن : U.S. Patent #4,560,008)

وفي داخل الآلة، فإن الوظيفة الأولية هي الفصل التام للبطاطس عن التربة، الكتل الترابية، والصخور بسهولة قدر الإمكان. وصممت أجزاء الآلة لإزالة التربة

بسرعة مع قليل من الإصابة قدر الإمكان ونقل (٤) البطاطس النظيفة إلى مخزن حاوية النقل (غير معروضة) المقطورة بجانب الآلة.

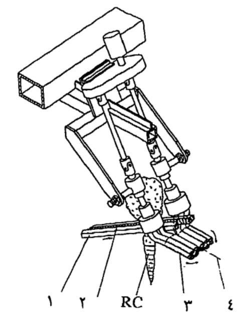


شكل ٣,١٠. آلة حصاد محصول في صفوف، منظر جانبي.

(عن: U.S. Patent #4,416,334)

الحصاد المقيد للمحاصيل الجذرية. تحصد المحاصيل الجذرية غالبًا بواسطة الاتصال المباشر مع الجزء العلوي من المحصول قبل الحفر الحقيقي أو الاتصال بالجزء الجذري المراد حصاده. حيث يتصل النبات (P) في الشكل رقم (٣, ١٠) بالأجزاء التي فوق التربة (F) والأجزاء الجذرية (RC) قبل قيام رافعة التربة (1) بقلع المحصول. والهدف هو الحصول على التحكم في المحصول الجذري بواسطة قمم المحصول ونقل منطقة التحكم إلى وسائل النقل (٢) قبل الحفر الحقيقي. وإذا كانت ظروف التربة مناسبة عند الحصاد، فإن الحفر سيشق التربة بحيث يسحب المحصول الجذري بسهولة من التربة، أو قريبًا من ذلك. والوظيفة التالية في هذه الآلة هي فصل القمم غير المرغوب فيها من الجزء الجذري المرغوب فيه بواسطة وسائل عامة (٤) موضحة في الشكل رقم (٤, ١٠).

يلاحظ في الشكل رقم (٤, ١٠) أنه يتم تنفيذ وظيفتين هامتين. فإزالة القمة مرغوب فيه عند أوطى نقطة في النبات مع المحافظة على قمة الجذر المحصود. وتقوم الأسطح الداخلية (٢) لسيور الرفع بالقبض والاستمرار في رفع المحصول حتى

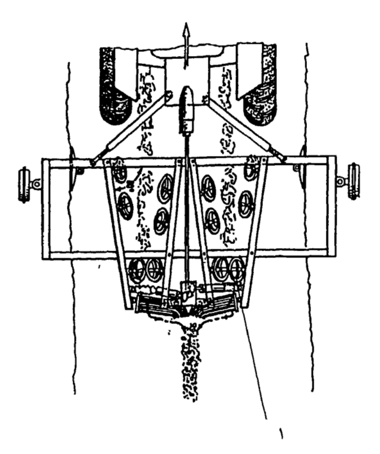


شكل ٤ , ١٠ . آلة حصاد محصول في صفوف، منظر جانبي.

(عن: U.S. Patent #4,185,696)

تتصل القمة العلوية من المحصول الجذري بأغطية القمم الدوارة. وتضمن أجزاء هذه القمة الدوارة نزع قمة النبات عند الارتفاع المناسب. وعبر ضبط الخلوص الجانبي للأجزاء الدوارة، يتم الحصول على إزالة القمة عند مستوى مناسب مع بقاء قليل من القمة على الجذر. وهذه هي الطريقة الشائعة المستخدمة في حصاد الجزر.

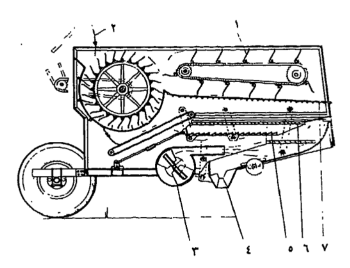
حصاد الفول السوداني. يحصد الفول السوداني تجاريًا في عملية حصاد على مرحلتين. فعند الوقت المثالي، يقلع المحصول من التربة ويقلب النبات كاملاً مع الفول السوداني المتصل به ويرفع للتجفيف الهوائي على سطح التربة. تنجز هذه العملية بواسطة حفار قلاب الفول السوداني الموضح في الشكل رقم (٥ , ١٠). تتم الوظائف الأولية المنفذة بواسطة حفار قلاب الفول السوداني مثل الحصاد الجماعي للبطاطس. إن حجم التربة المحتواة على الفول السوداني مع الأجزاء الخضرية المتصلة يتم تقليبه بواسطة سلسلة من الأقراص القلابة التي تكون في أوضاع استراتيجية. في الشكل رقم (٥ , ١٠)، تعمل المحاريث الأربع الأولية في كل صف على تفتيت وتكسير التربة بعيداً عن الفول السوداني. ولقد صمم الزوج النهائي



شكل ٥, ١٠. جراف وقلاب الفول السوداني، منظر علوي.

(عن: U.S. Patent #4,934,461)

المتعاكس من القلابات (١) للقيام بنقل وقلب نبات الفول السوداني مع دفع كتلة النبات في الخطوط الهوائية وفصل التربة بواسطة الأجزاء الأصبعية عند مؤخرة الآلة. في هذه الآلة، يستخدم عمود مأخذ القدرة لفصل الأجزاء اهتزازيًا وذلك لزيادة كفاءة الفصل والمساعدة في حركة المواد النباتية إلى مركز مخرج الآلة. وعندما تنخفض نسبة الرطوبة في الفول السوداني إلى صورة جيدة، تستخدم آلة حصاد الفول السوداني، المشابهة في الوظيفة لآلة حصاد الحبوب، للحركة خلال الحقل ودراس (فصل) الفول السوداني من مواد سيقان النبات. وتتضح الأجزاء الوظيفية لآلة الحصاد هذه بتوسع في آلة حصاد الفول السوداني الأخضر الموضحة في الشكل رقم (٦, ١٠).



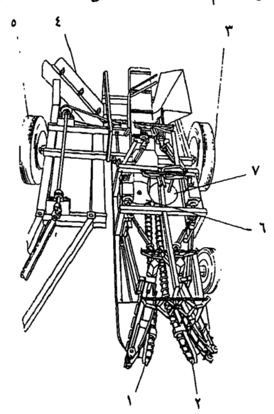
شكل ٦,١٠. آلة حصاد ودراس المجموع الخضري للفول السوداني، منظر جانبي. (عن: U.S. Patent #4,166,505)

قد يكون من المناسب، في بعض الحالات، حصاد قمم الفول السوداني الخضراء كعلف حيواني. وتستخدم آلة حصاد العلف لتقطيع القمم ونفخ المواد المقطعة إلى المقطورة. وبدون القمم، يجب تقليع الفول السوداني مباشرة، لأنه سوف يتلف تدريجيا إذا ترك في الأرض. في هذه الحالة، يجب أن تقوم آلة الحصاد المركبة للجزء الخضري من الفول السوداني أيضًا بامتلاك وظائف الدراس والفصل في آلة حصاد الحبوب المركبة كما هو موضح في الشكل رقم (٦ ,١٠). يوضح هذا الشكل المفصل كيف تتقدم النباتات المقتلعة مع الفول السوداني المتصل بها عند السهم رقم (٢) إلى أجزاء أسطوانة صدور الفصل التي تدور حول نفسها. ولقد صممت مواقع أسنان شوك أداة الدراس هذه لإزالة الفول السوداني الأخضر المحتوي على قرون من أطراف مواد النبات مع تقليل الإصابة للقرون. وتزال الكتلة الكلية لمواد الدراس من خلال الشبكة المثقبة الثابتة (٧) بواسطة الحركة الموجبة للشوك (١). ويتم الحصول على مزيد من الفصل بواسطة الهزازات (٥ و ٦)، شبيهة لرداخات القش في آلات حصاد الحبوب المركبة، والمروحة (٣). وأخيراً تجمع القرون النظيفة في وسائل النقل (٤)حيث ترفع إلى جزء النقل والتخزين في الآلة.

٢,٣,١٠ المحاصيل السطحية

المحاصيل السطحية الأساسية النامية في الولايات المتحدة الأمريكية هي: البسلة (شجيرية أو جافة)، والتوت الأزرق (منخفض الشجيرة)، والكرنب، والكرفس، والتوت البري، والخيار، والخس، والفاصوليا، والفراولة، والذرة السكرية، والطماطم. والمحاصيل السطحية الثانوية النامية في الولايات المتحدة الأمريكية هي: الخرشوف، والاسبرقس، والقرنبيط، والباذنجان، والفلفل، السبانخ، الكوسة، والشمام (عدة أنواع).

حصاد الكرنب. كما شوهد سابقًا، يهدف حصاد المحصول الجذري إلى الإزالة الاختيارية للجزء الجذري من المحصول المرغوب فيه من القمم. وفي حالة حصاد الكرنب، فإن العكس صحيح. فالأجزاء الوظيفية لآلة الحصاد متشابهة إلى حد كبير. ومرة أخرى، يتم الحصاد المتعدد من خلال اتصال وسائل التغذية

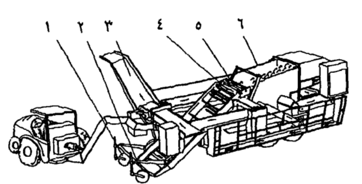


شكل ٧,١٠. آلة حصاد الكرنب. (عن: U.S. Patent #3,858,660)

الأسطوانية (١ و ٢) في الشكل رقم (٧, ١٠). حيث تحتوي هذه الأسطوانات على أجزاء لولبية حلزونية فوق أسطحها لتقديم جزء أساسي للتحكم في الحركة الأفقية متوازيًا مع الحركة الأمامية للآلة. ويحتاج ذلك إلى تزامن بين هذه الحركة الأمامية للجزء وحركة الآلة. وعادة مايمكن لهذه الآلة أن تستمد قدرتها من الجرار الذي يحتوي على تزامن أرضي لمقبض عمود مأخذ القدرة أو يمكن أن تقاد أجزاء التغذية الأسطوانية بواسطة عجلة أرضية (٣) أو (٥).

ويزداد ارتفاع الأسطوانة مع حركة نبات الكرنب إلى مؤخرة الآلة. وتحدث عمليتان. حيث تتسبب مقاومة النبات المراد نزعه بواسطة الجذور بوضع رأس الكرنب والأوراق السفلية ضد الأسطوانات حتى تكون قوة النزع النهائية مناسبة للبدء في نزع المجموع الجذري للنبات من التربة. والرفع الكلي لجذور النبات غير مناسب لأن قوة تماسك الجذور تكون ضرورية للمحافظة على الوضع المناسب الرأس. والدوران المعاكس لأسطوانات الاتصال مع سطح التلامس للساق المتحرك إلى أسفل يحافظ أيضًا على الوضع المناسب للرؤوس عندما تصل إلى القاطعات القرصية (٦ و ٧). وتنقل الرؤوس المقطوعة إلى الناقل (٤) لنقلها إلى وسائل النقل والتخزين.

حصاد الطماطم. لقد تأسس حصاد الطماطم بواسطة الآلات في الصناعة وذلك للطماطم المراد معالجتها في علب أو كمنتجات مجمدة. وبشكل عام، سوف تتحرك آلات الحصاد فوق المحصول مرة واحدة. فيتم حصاد جميع النباتات، لذلك فالنضج المتوازن يكون مهمًا جداً. ويبدأ الحصاد كما في الشكل رقم (٨, ١٠) بالسكاكين القرصية (١) وقاطع الجذور تحت السطح (٢). وترفع وسائل النقل النباتات المحصودة مع الطماطم، بينما تزيل جميع بقايا التربة. وعند قمة الآلة يشد زوج من الأسطوانات الدوار (٤ و ٥) النباتات وسيقانها إلى الأسفل وإلى الخلف باتجاه مجموعة الهزاز المتحرك (٦). وتجمع الطماطم المفصولة في سلسلة من النواقل ودفعها بواسطة الناقل (٣) إلى الصناديق الحقلية.



شكل ١٠,٨ . آلة حصاد الطماطم. (عن : U.S. Patent #4,584,826)

وفي بعض آلات حصاد الطماطم الحقلية يتم الفرز آليًا تمامًا بواسطة أنظمة إلكترونية تفرز الطماطم من حيث اللون لقياس مستوى النضج. وتترك الطماطم غير الناضجة في الحقل.

وتتماثل الطماطم المحصودة آليًا بغرض تسويقها طازجة تتماثل عمليًا مع الحصاد للتسويق المعالج، ماعدا أنه، يجب خفض الإصابة الآلية. ومن الصعوبة تصميم آلات قادرة على تقليل الكدمة والكشط خلال عمليات الحصاد. وفي هذه الحصادات يجب تغطية جميع أسطح الطماطم المتلامسة بمواد ناعمة ومرنة لحماية الطماطم من الإصابة.

حصاد الفراولة. لقد اهتم بالحصاد الآلي للفراولة خلال السنوات الماضية. ويبدو أن التغير في الأساليب الزراعية كان عاملاً مهمًا في التحرك باتجاه الأنظمة الآلية. يعرض الشكل رقم (٩ , ١٠) أسلوبًا موحدًا لإنتاج الفراولة الذي يبدأ بموقع الحقل المناسب. وعمليات مابعد الحصاد أيضًا مهمة لتجهيز النباتات لمحصول السنة القادمة. وبوضوح، فيجب أن يعتمد تصميم الآلة يقينيًا على هذه الممارسات الزراعية لضمان أن المحصول عند وقت الحصاد سوف يحتوي على المكونات المطلوبة. على سبيل المثال، سوف يتأثر موقع الفراولة إلى حد كبير باختيار الموقع، ومكافحة الحشائش، واختيار الصنف، وكثافة النبات، والتسميد، والري، والتحكم في نسبة الرطوبة. يجب أن تحتوي هذه الآلة على كتلة صلبة متجانسة من النبات ومادة الفراولة لتحصد مرة واحدة.

A.PRE-GROWING

SITE SELECTION - WELL DRAIN-LEVEL
SOIL TYPE-SANDY LOAM
LEVELING-FLAT SURFACE
FUMIGATION
COVER CHOPPING AND WEED CONTROL
CONTACT HERBICIDES - KILL COVER CROP

B. PLANT SELECTION - PLANTING EXAMPLE MIDWAY II
DENSITY - HIGH TYPE CHARACTERISTICS

C. TRANSPLANT TO SOLID SET IN
SOLID SET FIELD - NO ADDED TILLAGE

D. GROWING

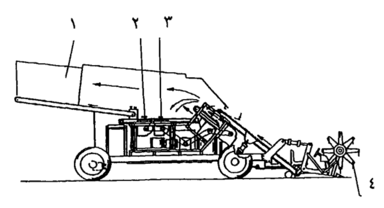
WEED CONTROL - MANUAL OR CHEMICAL
MOISTURE CONTROL - IRRIGATION
FERTILIZERS
FUNGICIDES

E. HARVESTING

LIFT AND CUT ABOUT 5/8" ABOVE GROUND
(ABOVE CROWN) MOVE ONTO CONVEYOR LIFTS
FOR INITIAL AERODYNAMIC SEPARATION
AERODYNAMIC ERECTION TO SHEAR AWAY STEMS
DEBRIS EXITS -DIVERSION OR FRUIT TO
COLLECTION OR PROCESSING

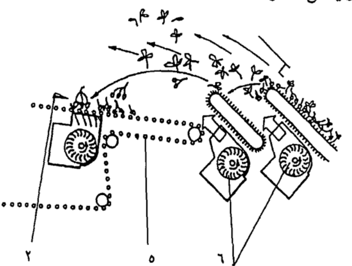
F. ROLLING
EVERY SPRING WHEN FROST LEAVES GROUND
FACILITATES FERTILIZER & FUNGICIDE ACCESS

شكل ٩,١٠. حصاد الفراولة، الممارسات الزراعية. (عن: U.S. Patent #4,519,191)



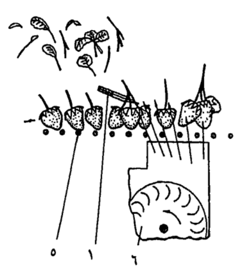
شكل١٠,١٠. آلة حصاد الفراولة، منظر جانبي. (عن: U.S. Patent #4,519,191)

وتقــوم وســائل القطع والبكرات ذات القــدرة عند النهــاية اليــمنى للآلة في الشكل رقم (١٠ , ١٠) بقطع مواد النبات تمامًا فوق سطح التربة (٤). وترفع الكتلة الكاملة من سيـقـان النبـات، والأوراق، والفـراولة إلى وسـائل فـصل هوائيـة أوليـة والمعروضة بوضوح في الشكل رقم (١١ , ١٠). وتنفخ الأوراق و المواد الخفيفة من غرفة التفريغ (١). وحينئذ تكون الثمار والمواد المتصلة أثقل وتتساقط فوق وسائل النقل (٥). ويحرك هذا الناقل مواد النبات فوق تيارين هوائيين علويين موجهين من المراوح (٦) كمـا هو موضح في الشكل رقم (١٢ , ١٠). ويتم اختيار سرعـة الهـواء الرأسية بعناية لتوجيه الثمار والسيقان هوائيًا إلى تجمعات القاطع (٢ و ٣) لنزع الساق والمواد الورقية من الثمار.

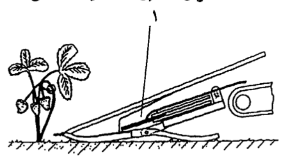


شكل ١١ , ١٠. آلة حصاد الفراولة، تنظيف هوائي. (عن: U.S. Patent #4,519,191)

إن العـمليـة الناجـحـة لآلة حـصـاد لمرة تلو الأخرى ذات عـلاقـة بالعـديد من المتغيرات. وبوضوح فإن قدرة الآلة على الاتصال وقطع جميع المواد بالقرب من مستوى سطح التربة قدر الإمكان تكون حاسمة. وتوضح هذه الحقيقة في أسلوب مقارب في الشكل رقم (١٣ , ١٠) حيث إن المسافات النسبية واقعية وتوضح الحاجة لخدمة كل نبات عند سطح التربة. وتكون سكاكين القاطع عادة (١) في حدود ١ إلى ٥ , ١ سم فوق سطح التربة.



شكل ١٠,١٢. آلة حصاد الفراولة، إزالة السيقان. (عن: U.S. Patent #4,519,191)

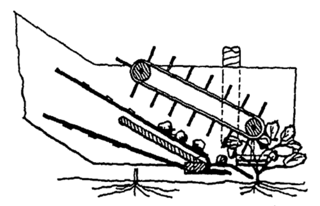


شكل ١٠,١٣. آلة حصاد الفراولة، قطع النبات. (عن: U.S. Patent #4,519,191)

هناك آلة أخرى لحصاد الفراولة حيث تتم المساعدة في رفع المادة النباتية إلى القواطع بواسطة التيارات الهوائية المتعاكسة والمتعامدة. كما هو موضح في الشكلين رقمي (١٠,١٤) و(١٠,١٥) مرة أخرى، فأهمية خصائص الديناميكا الهوائية في الرفع والسحب تؤثر على النجاح العملي لهذا الحصاد.

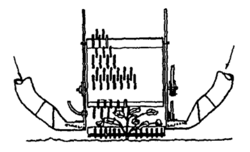
١٠,٣,٣ المحاصيل الشجيرية والتعريشة

المحاصيل الشجيرية والتعريشة الأساسية النامية في الولايات المتحدة الأمريكية هي: التوت الأزرق (عالي الشجيرة)، والتوت البري، والعنب، والأناناس، وعنب المائدة. والمحاصيل الشجيرية والتعريشة الثانوية النامية في



شكل ١٤,١٠. آلة حصاد الفراولة، التقاط هوائي، منظر جانبي.

(عن: U.S. Patent #3,964,245)



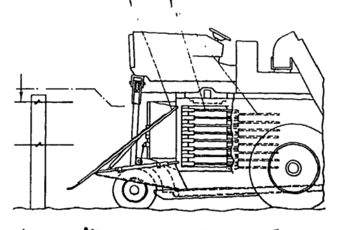
شكل ١٥,١٠. آلة حصاد الفراولة، التقاط هوائي، منظر أمامي.

(عن: U.S. Patent #3,964,245)

الولايات المتحدة الأمريكية هي: التوت الأسود، والرسبرس الأسود، والبن، والتين، والكرنب، و التوت الندي، والكيوي، و لوجان بيري، وماريون بري، والبامية، و التوت الأحمر، والتوت الصغير.

حصاد العنب. إن نسبة كبيرة من العنب المحصود في جميع أنحاء العالم لأغراض التصنيع، يحصد بواسطة الآلات. ويستخدم عدد من أنواع التعريشات لأصناف مختلفة وفي مناطق إنتاج مختلفة. عمليًا، حصاد العنب عبارة عن عملية آلية والتي فيها تنزع الفاكهة من أشجار العنب بالهز. وتمسك بمجرد سقوطها. وتنقل السيور الفاكهة المتجمعة من أسطح التجمع إلى منظفات التيار الهوائي. ومن ثم إلى صناديق النقل والتخزين الحقلية. ولقد استخدم هذا الأسلوب الحصادي العملي البسيط لسنوات عديدة. ويرغب مهندسو التصميم عادة في تحسين أداء وفعالية المكونات

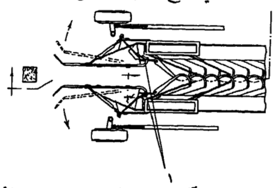
الأساسية والتي هي موضوع الجزء المتبقي من هذا الجزء.



شكل ١٠,١٦. آلة حصاد العنب مع رافعة الأفرع، منظر جانبي.

(عن: U.S. Patent #4,251,983)

تتأثر فاعلية الحصاد الكلية بطريقة الهز والإمساك على نحو غير ملائم بتعريشات أشجار العنب التي تنشأ من الأسلاك حول الأشجار وبشكل عام على توزيع أماكن تحميل العنب على الكرمة. ويعرض في الشكلين رقمي (١٦ , ١٠) و(١٧ , ١٠) أحد أساليب تقليل هذا التأثير حيث توضع القضبان المائلة (١) عند مقدمة آلة الحصاد لرفع التعريشة إلى أعلى وبعيداً عن طريق المضارب التالية(٢). ويحسن ذلك من فاعلية المضارب. علاوة على ذلك، إذا لم ترفع التعريشة فإنها تميل لتشكيل ستارة حاجبة والتي تدفع العنب المنفصل للسقوط باتجاه عمودي إلى أسفل.



شكل ١٠,١٧. آلة حصاد العنب مع رافعة الأفرع، منظر علوي.

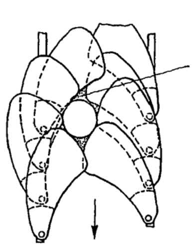
(عن: U.S. Patent #4,251,983)

ويكون الفقد الأرضي عادة عاليًا حول سيقان الكرمات ذات الأعمدة أو حول دعامات التعريشة، كما سوف يستعرض في القسم التالي.

لاقطات (ماسكات) الفاكهة. يتم الحصول على تشكيل للسطح اللاقط تحت الهزازات عادة بواسطة سلسلة من الصحون المتراكبة كما يرى في الشكل رقم (١٨ , ١٠). وبمجرد تحرك آلة الحصاد للأمام، تدور الصحون ذات الدعم الزنبركي فتحًا وإغلاقًا لتشكيل سطحًا لاقطًا، بينما تحافظ على الاتصال مع ساق أو أعمدة النبات الثابتة. وبوضوح فالمنطقة (١) غير مغطاة وبالتالي فالفاكهة الساقطة سوف تفقد إلى الأرض. ومن المحتمل تحسين ترتيب هذه العملية بواسطة تعديل الشكل، أو عدد الصحون المستخدمة كما يلاحظ في الشكل رقم (١٩ , ١٠). وهنا نلاحظ أن الشكل الهندسي النسبي التقريبي للشكل رقم (١٨ , ١٠) قد تحسن بقدر كبير بواسطة تخفيض المساحة غير المغطاة (١) في التصميم المحسن.

شكل (١٨ , ١٠) تصميم جامع الفاكهة، رسم أولي.

(عن : U.S. Patent #4,464,888)



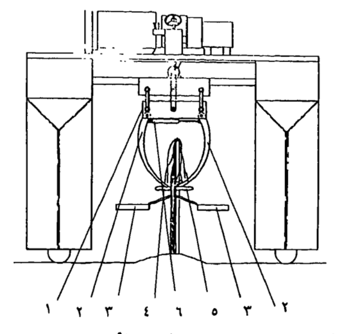
شكل (١٩ , ١٠) تصميم جامع الفاكهة، المحسن.

(عن : U.S. Patent #4,464,888)

الهزازات. تفاعل أجزاء الآلة مع أجزاء النبات له العديد من النتائج المهمة. والهزازات أو المضارب المستخدمة لإزالة العنب تكون خاضعة لضغوط دورية والتي تسبب إخفاقات في أعمدة المضارب ومكونات التوجيه (القيادة) إذا لم يصمم على

الوجه الصحيح. إن من الأهمية إدراك أن النباتات أيضًا تكون خاضعة لضغوط آلية وفسيولوجية والتي تنتج من تأثيرات الهزازات أو المضارب. وإصابة النسيج من الصدمات يمكن أن تخفض الإنتاجية المستقبلية للمحصول.

ولقد طوِّرت الأنظمة الهزازة بحيث توازن القوة الداخلية لتقليل الإجهاد على عنصر الآلة كما يلاحظ في الشكل رقم (٢٠ , ١٠)، انظر أيضًا الشكل رقم (٢١ , ١٠). وفي هذا التجسيد، تكون الأجزاء الآلية للهزاز موضوعة رأسيًا فوق السلك المنفرد من الشبكة الرأسية بينما تنتشر حركة الهزاز إلى نظام التعريشة بواسطة القضبان (٤ و ٥) وتقع الأسطح اللاقطة والسيور استراتيجيًا إلى الأسفل لاستقبال الفاكهة الساقطة. ويدعم التجميع الكلي للذراع (٣) مع وسائل الوضع (٦) بصورة أربعة من القضبان المتصلة بواسطة اثنتين من الوصلات الرأسية.

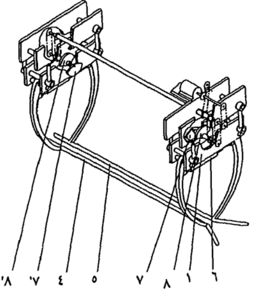


شكل ٢٠ , ١٠. قوة توازن الهزاز الأفقية، منظر جانبي.

(عن: U.S. Patent #4,793,128)

يبين المنظر المناظر القياس في الشكل رقم (٢١ , ١٠) بوضوح أجزاء مقدمة ومؤخرة مجمعات قضبان الاتصال الأربعة. ويتم الحصول على المركبة الأفقية لقوة توازن الاهتزاز بواسطة الدوران التزامني لكتلتين (٨) و (٨) في اتجاه واحد بينما

كـتلتـان أخـريان (٧) و (٧') تدوران تزامنيًـا وآنيًـا في الاتجـاه المعـاكس. لذلك، يتم الحصول على قوة التوازن الرأسية الأولية.

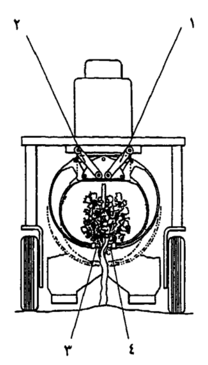


شكل ١٠,٢١. قوة توازن الهزاز الأفقية، منظر أمامي مفصل.

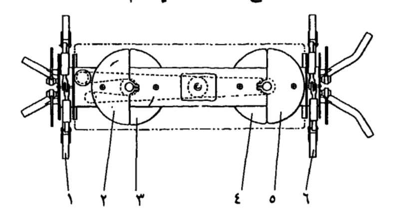
(عن: U.S. Patent #4,793,128)

ويمكن إنجاز فكرة توازن القـوة عن طريق العـديد من التركـيبات الآلية كـمـا هو موضح في المثال الثاني الظاهر في الشكل رقم (١٠ , ٢٢). عـمليًا، يتعامل هذا الهزاز مع كرمات العنب بصور متمـاثلة لمثال الهزاز السابق. ومع هذا، تعطي أذرعة الاتصال الأربع مع الوصلات غير المتوازية (١) و (٢) نقطة دوران رأسية لحركة الهزاز. وهذا يكون له تأثير على تكبير إزاحة قضبان الاتصال مع كرمة العنب (٣) و (٤).

وفي هذا المثـال الثـاني، يمكن رؤية طريقـة توليـد مكونات قـوة تـوازن الاهتـزاز بطريقة أكثر سـهولة عن طريق فـحص الشكلين رقـمي (١٠ , ٢٣) و(١٠ , ٢٤) الممثل للمـسـقط العلوي والمنظر الجـانبي الأيسـر، تتـابعـيًـا. وتـدور الكتلتـان (٢) و (٣) في عـمـود مـشـترك عكس عقـارب الساعة بينمـا في الطرف الآخـر، تدور الكـتلتـان (٤) و (٥) على عمـود مشترك في صورة عكسية. ويكون اتجاه الحـركة في هذه الأشكال من اليسـار إلى اليـمين وتنشر قـوة الدفع غيـر المتـوازية إلى أجـزاء النبـات عكس مكونات الذراع (١) و (٦).



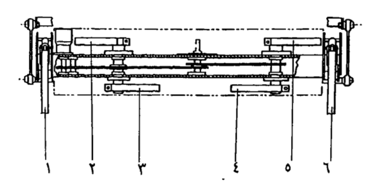
شكل ١٠,٢٢ . الهزاز المتأرجح، منظر أمامي عام. (عن: U.S. Patent #4,621,488)



شكل ١٠,٢٣ . الهزاز المتأرجح، منظر علوي مفصل(عن: U.S. Patent #4,621,488)

تصمم الهزازات أو المضارب غالبًا من ذراع مثبت وفعال من إحدى النهايات مثل المعروض في الشكلين رقمي (١٠ , ١٦) و(١٠ , ١٧) مثل الأذرعة (١) المثبتة محوريًا والتي تتأرجح بواسطة قوس صغير نسبيًا وتضرب أجزاء النبات. هذا النوع من التركيب الآلي سوف يولد اهتزازات كامنة شبه سوطية والتي يمكن أن تنتج

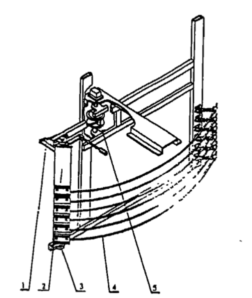
سرعات ارتدادية عالية بقدر كبير والذي يشار إليه كتصميم توافقي.



شكل ١٠,٢٤. الهزاز المتأرجح، منظر جانبي مفصل.

(عن: U.S. Patent #4,621,488)

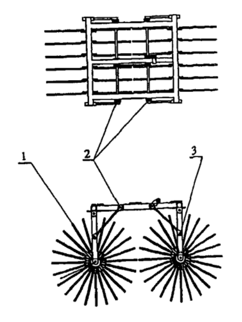
إن تصميم أحد جانبي آلة حصاد العنب الهزازة التي تضبط الإزاحة لطرفي ذراع الصدمة موضحة في الشكل رقم (١٠ , ٢٥) حيث يتغلب على سرعة الارتداد العالية للسوط. تثبت النهايات القائدة لأذرع الهزاز عضو (٢) الذي يركب محوريًا على المحور (٣) والذي بدوره يضغط بواسطة ناقوس المرفق (١) لوصلة رباعية الأذرع.

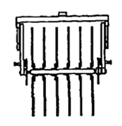


شكل ١٠,٢٥. الهزاز المتأرجح، منظر علوي. (عن: U.S. Patent #4,769,979)

تضبط الإزاحة لنهايات قضبان المضرب (٤) الفعالة ولكن لاتقيد العزم. والقائد اللامركزي (٥) يضع قضبان المضارب في موجة ثابتة ذات شكل متذبذب. هذا التصميم يخفض الإصابة بالكدمات الكامنة بينما يزيد السرعة الأمامية لآلة الحصاد.

تعرض الأشكال أرقام (٢٦ , ١٠) و(٢٧ , ١٠) و(٢٨ , ١٠) ثلاثة مقاطع لهزاز آلة حصاد العوسج (شجيرة شائكة) وتسبب اللامركزية في تزامن الأعمدة الدورانية (٢) بقيام الدعائم القطرية في تأرجح أعمدة التثبيت الرأسي عند النقطة (٣) بالإضافة إلى تثبيت مجمعات أسطوانة الصدمات ذات الأصابع (١) في قوة التوازن. تتحرك أسطوانة حصاد الفاكهة ذات الأصابع بإزاحة أفقية منتظمة وأداء آلي متميز عندما تكون بوضع الساعة ٤ والساعة ٨ كما هو موضح بالشكل رقم (٢٧ , ١٠). وتكون كل أسطوانة حرة الدوران خلال أجزاء النبات مع حركة آلة الحصاد الأمامية. ويحد نظام السقاطة الدورانية الدوران العكسي للمكونات والذي يضمن أن الإزاحة الموجبة لمواد التصادم سوف تحدث في اتجاه واحد.





شكل ٢٦ , ١٠. (يمين) آلية الهز منظر أمامي.

شكل ٢٧ , ١٠. (سفلي) آلية الهز، منظر جانبي.
شكل ٢٨ , ١٠. (علوي) آلية الهز، منظر علوي.

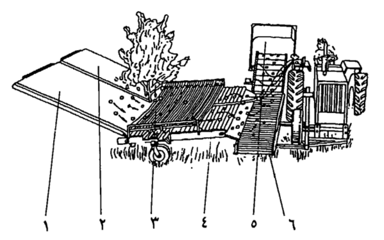
(عن : U.S. Patent #4,860,529)

٤,٣,١٠ المحاصيل الشجرية

المحاصيل الشجرية الأساسية النامية في الولايات المتحدة الأمريكية هي : التفاح، و المشمش، والأفوكادو (الزبدية)، والكرز، والحمضيات بأنواعها المتعددة، والخوخ، والكمثرى، والبيكان، والبرقوق. والمحاصيل الشجرية الثانوية النامية في الولايات المتحدة الأمريكية هي: اللوز، والبلح، والتين، والبندق، والمكارديما، والزيتون، و برقوق التجفيف، والجوز بأنواعه.

آلات الحصاد الشجرية. مازال الحصاد الآلي للمحاصيل الشجرية الصالحة للأكل يحظى باهتمام المهندسين منذ سنوات عديدة. وتتأثر درجة نجاح محاولات الحصاد بواسطة الآلة بعدة عوامل منها: بناء، وحجم، وشكل الشجرة وهو ذو أهمية عالية. فأشجار التفاح مختلفة تمامًا عن أشجار التمور (النخيل). ودرجة التحمل النسبية للمحصول المحصود ليست قليلة الأهمية. فالخوخ معرض للإصابة بالكدمات أكثر من البيكان. وأخيراً فالقيمة النسبية لوحدة الحصاد الفردية تدل على العائد المادي للحصاد المتوفر لمكننة الحصاد. فقيمة حبة الكرز الحمراء المعدة للمعالجة صغيرة جداً مقارنة مع قيمة البرتقال الطازج. وفي التحليل النهائي، فالعائد السائد الذي يمكن أن نطبقه على المكننة لأي محصول يكون قضية معقدة. والميزة المهمة هي أن الاتجاهات العامة السابق عرضها يمكن أن تقدم نظرة أولية وخطوط عريضة للتوقعات الصحيحة لتوفير منظومات مكننة الحصاد.

هناك بعض المحاصيل الشجرية التي تنتمي إلى مجموعة الأشجار التي تحصد بوسائل آلية. ويوضح الشكل رقم (٢٩ , ١٠) آلة حصاد أشجار والتي توفر سطح التقاط (١ و ٢) الذي يمكن وضعه في صف بواسطة جرار زراعي وينتشر عبر الصف ليشكل سطح التقاط كاملاً تحت ظل الشجرة. وتجمع الأسطح المائلة -بعد الانتشار- الفاكهة المحصودة عبر وسائل الجاذبية بينما أشرطة تخفيف السرعة (٣) تحمي الفاكهة من الصدمات المباشرة لوسائل التجميع (٤) التي تنقل الفاكهة إلى سير النقل (٦) ومن ثم إلى المخزن الكلي وصندوق التجميع (٥). فالتركيبات المستخدمة لهز الشجرة والمؤدي إلى فصل الفاكهة سوف تشرح في الأقسام التالية.



شكل ١٠,٢٩. آلة حصاد الفواكه الشجرية، الممتدة.

(عن: U.S. Patent #3,896,612)

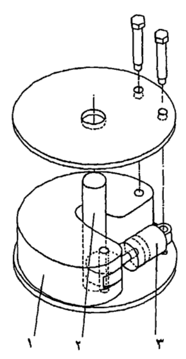
الهزازات الشجرية. بشكل عام، يلزم لحصاد أشجار الفاكهة عن طريق هز الأشجار أن تنقل كمية عالية نسبيًا من الطاقة إلى بناء الشجرة. يتم تطبيق هذه الطاقة عبر هزاز الجذع أو الغصن الموصول بأطراف الشجرة مباشرة. وقد طورت طبيعة التوصيل بين الشجرة والهزاز خلال سنوات عديدة. ويجب تجنب جهد القص الحاد للشجرة لأن انزلاق اللحاء قد يتسبب في ضرر شديد يؤدي إلى موت الشجرة أو يمكن أن يتراكم خلال السنين إذا عاشت الشجرة فتصبح في حالة ضعيفة. فالتصميم المناسب وعملية تشغيل مجموعة الهزاز ضرورية جدًا إذا رغب في حصاد الأشجار بعناية.

تستخدم الكتل الدورانية غير المركزية تقريبًا بتوسع في تصميمات الهزاز. ولأن هذه تصميمات داخلية للهزاز، فيجب أن يكون واضحًا أن قوة الهز الناتجة ذات علاقة بالكتلة النسبية من الكتلة الداخلية الدورانية للهزاز وبكتلة الشجرة أو الفرع المهزوز. وتردد الاهتزازات أيضًا مهم ولكنه في الغالب أسهل بكثير من ناحية المراقبة والتحكم.

وهناك أيضًا وظائف تطبيقية يجب مراعاتها مع هزازات الأشجار. إذا كانت الإزاحة غير المركزية ثابتة، فإن من الأهمية أن يكون تردد الهز صفر عندما يكون الهزاز متصلاً بالشجرة أو ضاغطًا عليها. وتكون هناك حاجة إلى وقت إضافي لأنه

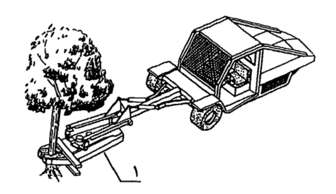
يجب رفع الهزاز إلى درجة التردد المناسبة عمليا للهز. وخلال عملية التسارع هذه، يمكن حدوث إصابات غير مرغوبة أو كامنة نتيجة الترددات المنخفضة للتصميم التوافقي داخل الشجرة. ولذلك فمن الأهمية الحصول على هزازات يمكن تشغيلها عند تردد واحد مع قيم متغيرة في القوة.

يحتـوي الشكل رقم (١٠,٣٠) على كتلة دورانية (١) التي، في الوضع الموضح في الشكل، يكون مركز التدويم متطابقًا مع محور عمود الإدارة (٢). ويتحكم في اللامركزية بواسطة أسطوانة هيدرولية (٣). ويمكن استخدام توليفات تزامنية لهذا الهزاز ليدعم التوازن بأسلوب شبيه بمنظومة هز العنب السابق شرحها في هذا الفصل.

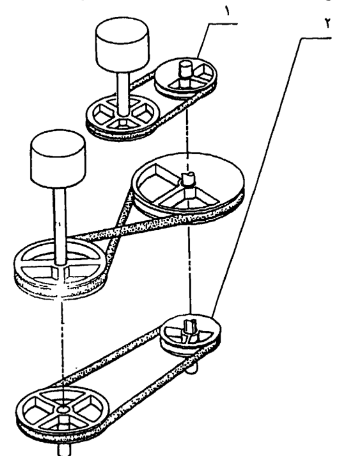


شكل ١٠,٣٠ . هزاز الكتلة ذو مركز هز متغير. (عن: U.S. Patent #4,776,156)

من الشائع هز المحصول ليسقط إلى الأرض ثم يجمع بواسطة آلة في عملية حقلية ثانية كما في حصاد الجوز والحمضيات المعدة للمعالجة. لذلك، تستخدم هزازات الشجر بمفردها كما هو مشاهد في الشكل رقم (١٠,٣١). ولمزيد من

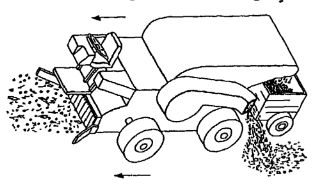


شكل ١٠,٣١. هزاز الكتلة متعدد أنماط الهز. (عن: U.S. Patent #4,409,782)



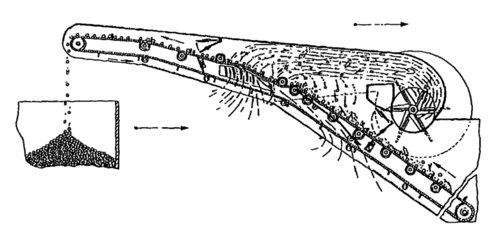
شكل ١٠,٣٢. هزاز الكتلة متعدد طرز الهز، مجسم.
(عن: U.S. Patent #4,409,782)

الاهتمام يمكن أن ينتج هذا الهزاز أنماطًا مختلفة من الإزاحة الاهتزازية، على اعتبار أن الإزاحة الناتجة من جميع الهزازات الترددية ذات علاقة بالكتلة وخواص التكوين الترددي للشجرة المهزوزة. ويوضح الشكل رقم (١٠,٣٢) الكتل الثلاث المركزية التي يمكن تدويرها في كل اتجاه وعند اختيار سرعات مستقلة.



شكل ١٠,٣٣. آلة جمع البندق. (عن: U.S. Patent #4,364,222)

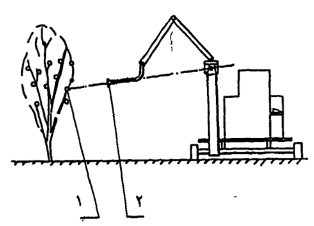
منظومات الرفع. تشتمل المتطلبات الوظيفية لمنظومات الجمع السطحية الموضحة في الشكل رقم (١٠,٣٣) على اتصال المنتج وأجزاء التحكم. وحالما يرفع المنتج إلى آلة الحصاد، يستخدم الهواء لإزالة البقايا الخفيفة من المنتج. ويمكن ملاحظة العناية الدقيقة لآلية المنظف الأيروديناميي في الشكل رقم (١٠,٣٤). والتوليفة المكونة من سرعة الهواء العالية في مسار السريان الرئيس مع درجة الميل



شكل ١٠,٣٤. آلة جمع البندق، منظر جانبي. (عن: U.S. Patent #4,364,222)

المتغيرة لسير النقل تضمن إزالة جميع المواد الخفيفة . والمواد التي تدخل بدون عمد إلى مجرى اندفاع الهواء ، ستأخذ فرص السقوط إلى الخارج قبل الدخول إلى المروحة . وهذه المنظومة لاتوجد بها وسائل لفصل الأحجار أو المود الثقيلة من المنتج .

آلات الحصاد الذاتية للأشجار . أدى التقدم في تكنولوجيا الحاسب الآلي وكذلك نظم الفحص الضوئية إلى تطور المنظومات الحقلية التي تكون قادرة عمليًا على تأدية عملية حصاد كل فاكهة لوحدها (منفردة) في بساتين مثمرة وقائمة في ذات الوقت وتضع الفاكهة المحصودة بعناية في صندوق التعبئة . عمليًا ، هذه المنظومات تشبه العمل اليدوي من الناحية التنفيذية . وتقوم آلة تصوير تلفزيونية بعرض الشجرة مع الفاكهة المراد حصادها ويقوم الحاسوب بمعالجة الصور لتقدير الفاكهة المراد قطفها . وكما هو موضح في الشكل رقم (٣٥, ١٠)، يتحكم الحاسوب بعد ذلك في ذراع الربوط مع قاطف تفريغي (٢) الذي يدور لفصل الفاكهة (١) . وتندفع الآلة ذاتيًا بين صفوف الأشجار . وتحس الآلة بموقع الشجرة وتقف لقطف الفاكهة . وفي نهاية الصفوف يتم التحكم بالآلة عبر الحاسوب لتدور إلى الخلف ومن ثم إلى وسط الصف التالي وتستمر عمليات قطف الفاكهة . والتدخل الإنساني الوحيد يمكن أن يكون في الرافعة الشوكية التي تزيل صناديق الفاكهة الحقلية وتغيرها بصناديق فارغة .



شكل ٣٥, ١٠ . آلة حصاد الفاكهة الذاتية. (عن : U.S. Patent #4,975,016)

٤ , ١٠ الاعتبارات النظرية

لقد تم الانتفاع بنجاح ببعض الأسس في حل مشكلات المكننة في حصاد الفاكهة، والخضر، والنقل. ويستخدم التحليل الهندسي المناسب عادة لاكتشاف التصميم الأمثل المتوقع أو فهم سبب وجود أجزاء الآلة أو وظائف العمليات. وسوف يتم شرح الشروط المهمة للمشكلة مع الفرضيات الضرورية للتحليل النظري والتعريفات لجميع المتغيرات الهندسية في كل من الأجزاء التالية.

١ , ٤ , ١٠ مفاهيم الديناميكا الهوائية

من الممكن غالبًا التأثير على نتائج عملية معينة مبنية على أحد من العوامل الفيزيائية باستخدام عامل آخر. وهذا الاعتبار مفيد ومؤثر طالما وُجد ارتباط قوي بين العملية الخاصة والنتيجة المطلوبة. على سبيل المثال، يستخدم عادة حجم المادة للتأثير على فصل المنتج بواسطة الكتلة. وبالمثل، يستخدم لون المنتج كمؤشر للنضج. ويعتمد اختيار الخاصية الفيزيائية للاستفادة من عمل الآلة على مجموعة من العوامل. أولاً: السهولة النسبية للتنفيذ؛ فخضوع المنتجات إلى قياس الحجم عبر السقوط في فتحات متحكم في أبعادها، أسهل من تأثير قياس وزن الكتلة لكل وحدة. ثانيًا: يجب أن تكون الخاصيتان ذات علاقة قوية. في بعض الحالات يكون هذا الارتباط عبارة عن دالة مثل حالة الحجم والوزن الفيزيائيين حيث تعرف كثافة المنتج لتكون ثابتة أو قريبة من الثبات. لذلك، يشيع تحليل العلاقات الخاصة القوية المؤثرة على عملية واحدة بناء على خواص أخرى وهو أسلوب منتشر التطبيق.

الخواص الديناميكية الهوائية للفراولة. يعتمد تنظيف الأوراق، وقطع السيقان، والقش، والنفايات خفيفة الوزن من الفراولة المحصودة على القدرة على تقديم المواد المختلطة إلى حقل دفع الهواء الذي يكون متوسط سرعة دفعه أقل نسبيًا من السرعة الحدية للثمار ولكنها، أعلى نسبيًا من السرعة الحدية للمواد الأخف وزنًا.

تعرف السرعة الحدية في الهواء (V_t) على أنها أقصى سرعة للسقوط الحر يصل إليها جسم تحت تأثير التسارع الأرضي. وتعرف السرعة الحدية النسبية للهواء (V_r)

على أنها سرعة الهواء في اندفاع حقلي متوازن بحيث، عندما يوجه جسم رأسيًا إلى أعلى، فإن الجسم المعرض له يعلق أو "يطفو" تحت تأثير التسارع الأرضي. لذلك، فسوف تكون السرعة الحدية للسقوط الحر للفراولة مختلفة عن متوسط سرعة الهواء الموجهة رأسيًا واللازمة لإيقاف الثمرة في وسط الهواء في مجال الدفع. والوحدات المفضلة لكل من السرعة الحدية والسرعة الحدية النسبية هي المتر لكل ثانية.

تطبيقيًا، يمكن قياس السرعة الحدية خلال تحديد زمن السقوط الحر من ارتفاع معين كما حدد بواسطة (Bilanski et al., 1962) المعادلة رقم (١٠,١) :

$$S = \frac{V_t^2}{g} \ln \left[\cosh \left(\frac{gt}{V_t} \right) \right] \qquad (١٠,١)$$

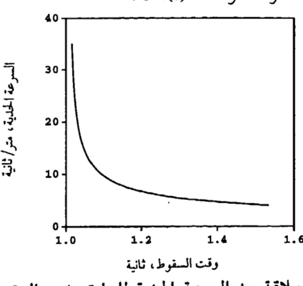
حيث :

S = مسافة السقوط الحر، م

V_t = السرعة الحدية في الهواء الساكن، م/ث

g = التسارع الأرضي، ٩,٨٠٧ م/ث^2

t = زمن السقوط الحر لمسافة (S)، ث.



شكل ١٠,٣٦ . العلاقة بين السرعة الحدية للمادة وزمن السقوط من ارتفاع معين. **(عن : Bilanski et al., 1962)**

تعرض المعادلة رقم (١ , ١٠) للسقوط الحر من مسافة ٥ م، بيانيًا في الشكل رقم (٣٦ , ١٠). إذا زادت السرعة الحدية على نحو ١٥ م/ ث تقريبًا، فإن ارتفاع السقوط يجب أن يزيد على الحد التطبيقي. وبدلاً من ذلك، يجب تحديد السرعة الحدية النسبية عبر تأسيس حقل اندفاع هوائي بسرعة متوسطة تؤدي إلى تعلق الجسم. وهذه عملية معقدة غالبًا بسبب أن الجسم المعلق يدور أو بصورة أخرى يكون غير مستقر، لذلك من الصعب عمل مشاهدة عملية للسرعات الحدية والنسبية.

تعتبر كتلة الثمرة وثابت الشد من العوامل المؤثرة على السرعة الحدية النسبية. وثابت الشد دالة في شكل الثمرة، وحجمها، والمواصفات السطحية، بالإضافة إلى رقم رينولد لحقل اندفاع المائع. ولقد وجد (DeBaerdemaeker and Segerlind, 1974) أسلوبًا لقياس وقت السقوط الحر في مجال الدفع الذي يحتوي على متوسط سرعة رأسية أقل تقريبًا من السرعات الحدية النسبية. وعلى ذلك، تمكنوا من قياس السرعات الحدية النسبية للفراولة تجريبيًا كدالة في كتلتها كما هو معطى بالمعادلة:

$$V_r = a + b\,(m)^{1/2} \qquad (١٠ , ٢)$$

حيث:

V_r = السرعة الحدية النسبية، م/ ث

a, b = ثوابت من الجدول رقم (١ , ١٠)

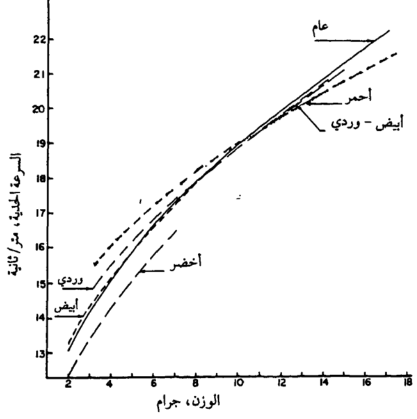
m = كتلة الثمرة الواحدة، جم.

يعطي الجدول رقم (١ , ١٠) قيم الثابتين (a, b) المقدرين من البيانات العملية وتعرض هذه النتائج المقاسة في الشكل رقم (٣٧ , ١٠). ويرى في هذا الشكل بوضوح، أن مرحلة النضج أقل تأثيراً على السرعة الحدية النسبية من كتلة الثمرة. وباستثناء الثمار الخضراء، فقليل من التأثير يمكن رؤيته بسبب درجة النضج.

جدول ١٠,١ . ثوابت تحليل الارتداد للسرعة الحدية النسبية (v_r)كدالة من كتلة الفراولة (m) عند درجات نضج مختلفة.

$$V_r = a + b\,(m)^{1/2}$$

النضج	الكتلة (جم)	a	b
أخضر	١ - ١١	٩,٥٢	٢,٥١
أبيض	٢ - ١٢	١٠,١٨	٢,٥٢
أبيض - وردي	٢ - ١٦	١٠,٤٣	٢,٣٩
وردي	٢ - ١٦	١١,١٨	٢,١٦
أحمر	٣ - ١٩	١١,٩٨	١,٩٢
عام	١ - ١٩	١٠,٠٨	٢,٥٣



شكل ١٠,٣٧ . السرعة الحدية للفراولة بالوزن لخمس مجاميع لونية.

(عن : DeBaerdmaeker and Segerlind, 1974)

الخواص الديناميكية الهوائية للتوت الأزرق. يحصد التوت الأزرق منخفض الشجيرة عن طريق تجريد النباتات باستخدام المدامات(الأمشاط) اليدوية أو بواسطة المنظومة الآلية للمدامات. وتحتاج كلا الطريقتين إلى إزالة النفايا والأوراق والتي يحصل عليها في الغالب باستخدام تدفق الهواء الرأسي المباشر. إذا كان متوسط سرعة تدفق الهواء أقل تقريبًا من السرعة الحدية النسبية للثمار، فإن النفايات الأقل وزنًا ذات السرعة الحدية النسبية الأقل سوف تزال. وبما أن التوت الأزرق كروي الشكل تقريبًا، فيمكن توقع ثابت السحب ليكون ثابتًا تقريبًا عند ٠,٤٤ لتوجيه دفع مضطرب تمامًا ($N_{re} > 10^3$). وقد ذكر (Soule, 1970) أن متوسط ثوابت السحب (C_d) تتراوح من ٠,٤٨٣ إلى ٠,٥٢٥، وتعتمد على شكل التوت. ويحدث تعلق الثمار بسريان الهواء عندما تتساوى قوة السحب (F_d) مع القوة الناتجة من انخفاض الجاذبية بتأثير الطفو (F_g) كما أعطى بـ:

$$F_d = C_d \ A_b \ \rho \ (V_r)^2 \ / 2 \qquad (١٠,٣)$$

و

$$F_g = g \ m_b \ (\rho_b - \rho) / \rho_b \qquad (١٠,٤)$$

وبتوحيد المعادلتين رقمي(١٠,٣) و(١٠,٤)، تكون المعادلة العامة للسرعة الحدية النسبية:

$$V_r^2 = 2 \ g \ m_b \ (\rho_b - \rho) / \left[(\rho \ \rho_b) \ A_b \ C_d\right] \qquad (١٠,٥)$$

حيث:

A_b = مساحة مقطع سطح الثمرة الرأسي على اتجاه سريان الهواء، م^2

C_d = ثابت السحب، عديم الوحدات

ρ = كثافة الهواء، كجم/م^3

ρ_b = كثافة الثمرة، كجم/م^3

m_b = كتلة الثمرة، كجم.

مثال رقم (١٠,١)

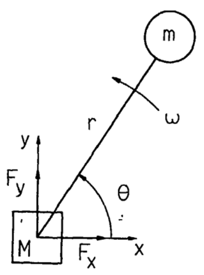
يلزم تصميم وحدة إزالة الورق لآلة حصاد الكرز الأحمر الحامضي باستخدام تيار مباشر من الهواء ورأسيًا إلى أعلى. ما هو متوسط أقصى سرعة للهواء التي يحتاج لها لإتمام هذه الوظيفة؟ هل تتوقع لهذا المنظف أن يزيل الكرز الصغير جداً إذا وجد ولماذا؟

الحل . إن من الضروري فرض أن جميع الفاكهة والأوراق في صورة فردية وإذا كانت السيقان موجودة، ويمكن تجاهل تأثيرها. علاوة على ذلك نفرض أن الكرز الأحمر متشابه تمامًا في مواصفات الشكل والسطح بحيث يمكن استخدام المعادلة رقم (١٠,٥) بعد أن يحدد الطالب القيم العديدة المناسبة للمتغيرات في المعادلة. ويمكن تحديد تأثير الفاكهة الصغيرة بالنظر في التغير النسبي في السرعة الحدية النسبية عندما ينخفض حجم الفاكهة بـ ٥٠٪، على سبيل المثال. وتكون مساحة سطح المقطع ذات علاقة بمربع نصف القطر، لذلك إذا خفض نصف القطر إلى حوالي (٢/١) من قيمته السابقة، تنخفض المساحة بـ$(١/٢)^{٢}$ ، أو (٤/١). وبالمثل، فالكتلة متناسبة مع الحجم المقترن مع مكعب نصف القطر ؛ لذلك ينخفض الحجم (والكتلة) بـ$(١/٢)^{٣}$، أو (٨/١). ونرى من المعادلة رقم (١٠,٥) أن (V_r^2) تتناسب مع (m_b/A_b)، أو (٨/١) ÷ (٤/١) = (٢/١). لذلك، نخلص بأن تخفيض حجم الكرز إلى (٢/١) القطر الأصلي يخفض (V_r^2) إلى $(١/٢)^{٠,٥}$ من قيمتها الأصلية، لذا (V_r) تخفض إلى $(١/(٢)^{٠,٥})$ أو (١/ ١,٤١٤) أو (٠,٧٠٧)من القيمة الأصلية. وإذا وضعت سرعة الهواء عند ٨٥٪ من السرعة الحدية النسبية للكرز الكبير، فإن الكرز الصغير (٥٠٪ من الحجم) سوف يزال مع الأوراق.

١٠,٤,٢ أساسيات الشجيرة وهزازات الشجر

لقد أثبتت هزازات القصور الذاتي أنها وسيلة سهلة يعتمد عليها لتوليد الحركة الاهتزازية على هيكل الشجرة والشجيرة. والسبب في إرسال طاقة الاهتزاز إلى هيكل النبات هو العمل على انفصال المواد القابلة للحصاد. بالإضافة إلى آلية الهزاز

نفسها، يوجد تساؤلات إضافية لإصابة المنتج المحصود، أو إصابة للمتبقي من هيكل النبات والآلية الأصلية للفاصل. وسوف نعالج كلاً من هذه العوامل في الأجزاء التالية.



شكل ١٠,٣٨. هزاز قصور ذاتي ذو كتلة دورانية مفردة.

هزاز الكتلة المتحركة المنفردة. يوضح الشكل رقم (١٠,٣٨) هزازاً بسيطًا بكتلة متحركة واحدة (m). نفرض أن محور الدوران (0, 0) ثابت في الفراغ وتدور كتلة هزاز القصور الذاتي (m) بسرعة دورانية ثابتة (ω) بعكس اتجاه عقارب الساعة. وتساوي زاوية الدوران حاصل ضرب الزمن (t) و(ω). وعند أي زمن (t) يحدد مركز الكتلة (m) عند النقطة (x, y):

حيث:

$$x = r \cos (\omega t)$$

و

$$y = r \sin (\omega t) \qquad (١٠,٦)$$

حيث: (x) و(y) و(r) هي الإزاحات، م.

تتولد قوة الطرد المركزي (F) عبر الحركة الدورانية لـ (m) حول (0, 0) ، ويمكن مقاومتها بمركبتي القوة:

$$F_x = m d^2 x / dt^2 = - m \omega^2 r \cos(\omega t)$$

و

$$F_y = m d^2 y / dt^2 = - m \omega^2 r \sin(\omega t) \qquad (١٠,٧)$$

تتكون القدرة من مضروب متجه قوة مقطع المنتج في السرعة. في هذه الحالة، بما أن مركز الدوران قد فرض أنه ثابت، فالقدرة اللازمة لتشغيل المنظومة تساوي صفراً بوضوح. وهذا النموذج من الكتلة الدورانية عملي لتقدير قوى الهز تحت ظروف المحددات المفروضة. ومحدد آخر لهذا النموذج هو أن اتجاه التحكم لقوة الهز أونموذج الهز ليس ممكنًا لأن قوة الطرد ذات مقدار ثابت ويدور اتجاهها بانتظام.

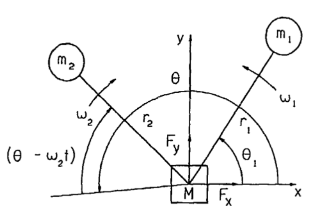
قبل المعالجة، من المهم الفصل بين عدد الكتل في منظومة الهز وعدد درجات الحرية في تلك المنظومة. فلكل درجة حرية في المنظومة، من الضروري الحصول على معادلة خطية مستقلة لكي يمكن حل معادلات المنظومة الناتجة. فكل كتلة في المنظومة قادرة على إنتاج حوالي ست حركات عمودية مستقلة، ثلاث إزاحات خطية عمودية متبادلة، وثلاث إزاحات دورانية حول المحاور التي تكون ٩٠° بين كل منها. والسبيل الآخر لتحديد عدد درجات الحرية للمنظومة هو تقدير عدد المتغيرات الهندسية المستقلة اللازمة للوصف الكامل للمنظومة تحت الاعتبار.

هزاز الكتلة المزدوجة المتحركة. يمكن الحصول على التحكم في كل من اتجاه ونموذج الهز بإضافة كتلة دورانية أخرى كما هو مشاهد في الشكل رقم (١٠,٣٩). ونفرض أيضًا أن كتلة القاعدة (M) كبيرة جداً حيث الحركات الصغيرة الناتجة عن (M) لاتؤثر على المجموع الحسابي لقوة القصور الذاتي من (F_x) و (F_y). باستخدام نتائج هزاز الكتلة المنفردة، كما في الشكل رقم (١٠,٣٩):

$$\sum F_x = M d^2 x / dt^2 = - m_1 \omega_1^2 r_1 \cos(\omega_1 t) - m_2 \omega_2^2 r_2 \cos(\theta - \omega_2 t)$$

و

$$\sum F_y = M d^2 y / dt^2 = - m_1 \omega_1^2 r_1 \sin(\omega_1 t) - m_2 \omega_2^2 r_2 \sin(\theta - \omega_2 t) \qquad (١٠,٨)$$



شكل ١٠,٣٩. هزاز قصور ذاتي ذو كتلة دورانية مزدوجة.

وفي حالة التماثل الخاص حيث: $(\omega_1 = \omega_2 = \omega)$ و$(m_1 = m_2 = m)$ و$(r_1 = r_2 = r)$ و$(\theta = \pi)$، نحصل على:

$$\sum F_x = 0$$

و

$$\sum F_y = -2\, m\, \omega^2\, r \sin(\omega\, t) \qquad (١٠,٩)$$

وتحت هذه الظروف، يتزن الهزاز في الاتجاه السيني بقوة الإثارة الجيبية النقية في الاتجاه الصادي.

وإذا قسمت قوة الاتجاه الصادي في المعادلة رقم (٩ , ١٠) على الكتلة (m) وتم تكاملها مع محددات تكامل غير محددة، فإن معادلة إزاحة الاتجاه الصادي تعطى بـ:

$$y = (2\, m\, r / M) \sin(\omega\, t) \qquad (١٠,١٠)$$

يمكن أن تؤدي المعادلة العامة رقم (٨ , ١٠) أيضًا إلى تكامل مضاعف غير محدد لتنتج معدلات إزاحة عامة للكتلة المركزية (M) والتي أيضًا فرضت لتكون مركز الدوران للكتل (m_1) و(m_2). هذه المعادلات العامة للإزاحة هي:

$$x(t) = (m_1/M)\, r_1 \cos(\omega_1 t) + (m_2 / M)\, r_2 \cos(\Theta - \omega_2 t)$$

و

$$y(t) = (m_1/M)\, r_1 \sin(\omega_1 t) + (m_2 / M)\, r_2 \sin(\Theta - \omega_2 t) \quad (١٠ , ١١)$$

مثال رقم (٢ , ١٠)

في تحليل الهزاز ذي الكتلتين الدورانيتين، إذا فرضت الحركة الناتجة لتكون "صغيرة". ما هي الظروف الضرورية لأقصى إزاحة بحيث لاتكون أكثر من ١٠٪ من نصف قطر الكتل الدورانية في حالة هزاز متوازن القوة؟

الحل. يمكن الحصول على مقدار الحركة الناتجة من المعادلة رقم (١٠ , ١٠) في الاتجاه الصادي. لذلك:

$$2\, m\, r / M < 0.10\, r$$

أو

$$m < 0.05\, M \quad (١٠ , ١٢)$$

لذلك إذا كانت الكتلة الدورانية (m) أقل من ٥٪ من الكتلة المهتزة (M)، فإزاحة الهز القصوى الناتجة سوف تكون أقل من ١٠٪ من نصف قطر دوران الكتلة (r).

مثال رقم (٣ , ١٠)

باستخدام المعادلة رقم (١١ , ١٠)، مع اخضاعها لشروط المعادلة رقم (١٢ , ١٠)، حدد قيم (m_1) و(m_2) و(ω_1) و(ω_2) و(r_1) و(r_2) و(M) التي تنتج ثلاث نماذج إزاحة ذات نتوءات هز مثل المعروض في الشكل رقم (٤٠ , ١٠).

الحل. يجب أن تحل المعادلة رقم (١١ , ١٠) بواسطة الحاسب الآلي، لقيم عديدة متزايدة لـ(t) بين ($t = 0$) و ($t = 2\pi/\omega_1$) أو ($t = 2\pi/\omega_2$)، والذي هو أعلاها قيمة

للوقت . ولقـد استـخـدم برنامج (TK Solver™) في حل هذا المثـال، وصـفـحـات القوانين والمتغيرات معروضة في الجدول رقم (٢ , ١٠) .

جدول ٢ , ١٠ . نواتج برنامج (TK SOLVER™) للشكل رقم (٤٠ , ١٠).

صفحة القواعد (للاستخدام التعليمي فقط)

Al = ml * rl / M

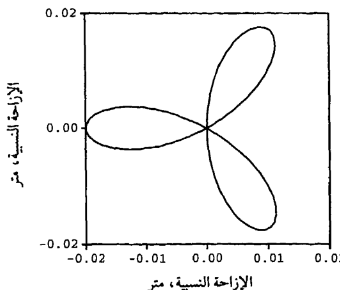
B1 = m2 * r2 / M

x = A1 * cos (w1 * t) + B1 * cos (theta - w2 * t)

y = A1 * sin (w1 * t) + B1 * sin (theta - w2 * t)

صفحة المتغيرات (للاستخدام التعليمي فقط)

St	المعطى	الاسم	الناتج	الوحدات	ملاحظات
		A1	٠,٠١	(م)	شكل ٤٠ , ١٠
	١٠	ml		(كجم)	
	٠,٢	rl		(م)	
		B1	٠,٠١	(م)	
	١٠	m2		(كجم)	
	٠,٢	r		(م)	
	٢٠٠	M		(كجم)	
L		x	٠,٠	(م)	
	١٠	w1		(ز/ث)	
L	٠	t		(ث)	
	٣,١٤١٥٩٢٧	theta		(ز)	
	٢٠	w2		(ز/ث)	
L		y	$١,٢٢٥ \times ١٠^{-١٨}$	(م)	



شكل ١٠,٤٠. إزاحة المركز لهزاز قصور ذاتي ذي كتلتين دورانيتين.

هزاز ذو ثلاث كتل دورانية. يعرض الشكل رقم (١٠,٣٢) هزازًا ذا ثلاث كتل دورانية. وتدور كل الكتل الثلاث حول محور مشترك. إلى هذه النقطة، فرضنا أن هزاز الكتلتين الدورانيتين يكون متوازنًا مع كل اتجاه ماعدا واحد. وهذا صحيح، إذا كانت مراكز الجاذبية للكتلتين الدائرتين حول مستوى مشترك عموديًا على محور الدوران. وليس من السهل الحصول على هذه النتيجة في التطبيق. والحل التطبيقي هو "تقسيم" كتلة واحدة إلى اثنتين، ووضع أحد النصفين فوق الكتلة الثالثة والنصف الآخر تحتها في الوسط كما يشاهد في الشكل رقم (١٠,٣٢). إذا تزامنت الكتل المتساوية (١) و (٢) لتكون في مرحلة مع بعضها في نفس الاتجاه الدوراني والتردد، فسوف يتضح من التماثل أن قوة الهز الناتج موازية في مستوى متعامد لمحور الدوران، ولكن، أيضًا عزم التوازن، مثل السابق، ولا يوجد عزوم غير موزونة "تؤرجح" هذا المستوى. وزيادة على ذلك، فهذا الهزاز قادر بوضوح على إنتاج نماذج هز ثنائية الاتجاه في الشجرة المعروضة في الشكل رقم (١٠,٣١). إذا وحدت الكتلة الكلية لرأس الهزاز (١) مع الشجرة فيكون تأثير مركز الكتلة عند الخط المركزي لدوران الكتل الثلاث.

قدرة الهزاز. إذا أخذنا في الاعتبار قوة توازن الهزاز المعروضة في الشكل رقم (٤١ , ١٠) بحيث تعطي دالة القوة (F_y) بواسطة المعادلة رقم (٩ , ١٠). وتكون المعادلة للحركة في الاتجاه الصادي هي:

$$M\, d^2y/dt^2 + C\, dy/dt + K\, y = 2\, m\, r\, \omega^2 \sin(\omega t) \qquad (١٠ , ١٣)$$

حيث:

C = معامل الكبت، نيوتن. ث/م

K = الصلابة، نيوتن/م.

والحل الانتقالي (المكمل) للمعادلة رقم (١٣ , ١٠) يكون ذا أهمية قليلة لأنه عمومًا يختفي بسرعة نسبيًا. وحل حالة الاستقرار (الخاص) يكون في الصورة:

$$y(t) = \frac{2\, m\, r\, \omega^2}{\left[\left(K - M\omega^2\right)^2 + \left(C\omega\right)^2\right]^{0.5}} \sin(\omega t - \alpha)$$

حيث:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{C\omega}{K - M\omega^2}\right) \qquad (١٠ , ١٤)$$

إذا حددنا التردد الطبيعي ($\omega_n^2 = K/M$) ونسبة المضاءلة ($\xi = C/(2M\omega_n)$)، فإن:

$$y(t) = \frac{2\, m\, r\, \omega^2 / K}{\left\{\left[1 - \left(\omega/\omega_n\right)^2\right]^2 + 2\left(\xi\, \omega/\omega_n\right)^2\right\}^{0.5}} \sin(\omega t - \alpha) \qquad (١٠ , ١٥)$$

حيث:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{2\xi\, \omega/\omega_n}{1 - (\omega/\omega_n)^2}\right) \qquad (١٠ , ١٦)$$

إذا كان تردد الإثارة أعلى بكثير من التردد الطبيعي ($\omega_n << \omega$) فإن المعادلة رقم (١٠ , ١٥) تنخفض إلى :

$$y(t) = \left(\frac{2\,m\,r}{M}\right) \sin(\omega\, t - \alpha) \qquad (١٠ , ١٧)$$

ويجب مقارنة هذه النتيجة مع المعادلة رقم (١٠ , ١٠). والفرق هو أن تأثير المضاءلة يؤخر الزاوية في الإزاحة بالنسبة لدالة القوة. وتعطى السرعة بـ:

$$dy / dt = \frac{2\,m\,r\,\omega}{M} \cos(\omega\, t - \alpha) \qquad (١٠ , ١٨)$$

وأخيراً، يمكن كتابة القدرة اللحظية كحاصل ضرب القوة في السرعة :

$$P_{inst} = \left[2\,m\,r\,\omega^2 \sin(\omega\, t)\right] \left[\frac{2\,m\,r}{M} \cos(\omega\, t - \alpha)\right] \qquad (١٠ , ١٩)$$

ويمكن الحصول على القدرة المتوسطة بتكامل المعادلة رقم (١٩ , ١٠) بالنسبة للوقت اللازم لدورة واحدة لكتلة دورانية بطيئة (T_f) :

$$P_{avg} = 1 / T_f \int_0^{T_f} P_{inst}\; d\,t$$

مع كون محددات التكامل (0) إلى(T_f) . لذلك تعطى القدرة المتوسطة بـ:

$$P_{avg} = \left[2\,m^2\; r^2\; \omega^3\; / M\right] \sin(\alpha) \qquad (١٠ , ٢٠)$$

وقام (Adrian and Fridley, 1965) بدراسة متطلبات قدرة الهزاز تحت الظروف الحقلية الفعلية.

معادلة (LaGrange). تعامل مشاكل قوى الاهتزاز الجبرية المعقدة ذات المضاءلة عادة بالنظر إلى مسألة الطاقة. وكما يحدد بسهولة، تعد معادلة (LaGrange) ميزانًا للطاقة تطبق على كامل منظومة الاهتزاز. وتعالج غطيًا المنظومات متعددة درجات الحرية، ولكن، تحتاج المعادلات التفاضلية للمنظومات الناتجة عادة لحاسوب إلى حلها. ومن المستحيل تطبيقيًا الحصول على حل في صورة مغلقة (تحليلية) لمعادلات المنظومات الحقيقية غير الخطية التي تمثل المشاكل التطبيقية. ومعادلة (LaGrange) في الاتجاهات العمودية العمومية العامة (q_i) تأخذ الصورة العامة التالية:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial (K.E.)}{\partial q_i} - \frac{\partial (K.E.)}{\partial q_i} + \frac{\partial (P.E.)}{\partial q_i} + \frac{\partial (D.E.)}{\partial q_i} = Q_i \qquad (١٠,٢١)$$

حيث:

K.E. = الطاقة الحركية للنظام = $1/2M\left(\frac{dx}{dt}\right)^2$

P.E. = الطاقة الكامنة للنظام = $1/2K\,x^2$

D.E. = طاقة الفقد في النظام = $1/2C\left(\frac{dx}{dt}\right)^2$

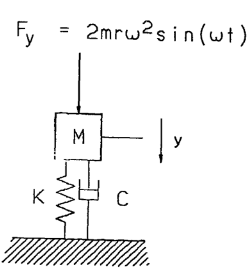
Qi = القوة الخارجية العامة المؤثرة على النظام.

مثال رقم (١٠,٤)

طبق معادلة (LaGrange) لقوة اهتزاز جبرية على كتلة مضاءلة مع درجة حرية مفردة والموضحة في الشكل رقم (١٠,٤١). حيث حددت العوامل (M) و(C) و(K) في المعادلة رقم (١٠,١٣)، اهمل الجاذبية.

الحل. تعطى الطاقة الحركية للمنظومة بـ:

$$K.E. = 1/2\,M\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 \qquad (١٠,٢٢)$$



شكل ١٠,٤١. نموذج قوة اهتزاز عند درجتين من الحرية موجودة مع قوة توازن لهزاز قصور ذاتي ذي كتلتين دورانيتين .

وتعطى الطاقة الكامنة للمنظومة بـ:

$$P.E. = 1/2\, K\, y^2 \qquad (١٠,٢٣)$$

وتعطى طاقة الفقد في المنظومة بـ:

$$D.E. = 1/2\, C \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 \qquad (١٠,٢٤)$$

وتعطى دالة القوة في اتجاه الحركة لدرجة الحرية المفردة (y) بـ:

$$Q = F_o \sin(\omega t) \qquad (١٠,٢٥)$$

وبعد حساب التفاضل الجزئي المناسب والإحلال، تصبح المعادلة رقم (١٠,٢١):

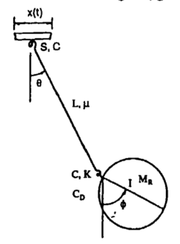
$$\frac{d}{dt}\left[M\left(\frac{dy}{dt}\right)\right] - 0 + K\,y + C\left(\frac{dy}{dt}\right) = F_o\ \sin(\omega\ t) \qquad (١٠,٢٦)$$

وتنخفض أخيراً إلى:

$$M\left(\frac{d^2y}{dt^2}\right) + C\left(\frac{dy}{dt}\right) + K\,y = F_o\ \sin(\omega\ t) \qquad (١٠,٢٧)$$

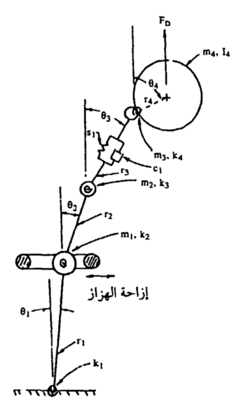
١٠,٤,٣ الفصل الاهتزازي خلال الحصاد

مازالت معادلة (LaGrange) تستخدم بنجاح في تحليل الحصاد الهزاز للزيتون (Tsatsarelis, 1987) ومانع الهواء للفراولة (Ruff et al., 1980). ويعرض نموذج ذو درجتا حرية للزيتون في الشكل رقم (١٠,٤٢) ونموذج ذو خمس درجات حرية في الشكل رقم (١٠,٤٣). وتطرقت كلا الدراستين إلى شكل الاهتزاز الناتج من الاهتزازات الجبرية والمتأكد منها عبر النتائج التجريبية حيث يوضح النموذج المائل للاهتزاز المعروض في الشكل رقم (١٠,٤٤) عملية مهمة جداً في فصل الثمرة بواسطة الانتزاع عند اتصال العنق بالثمرة.

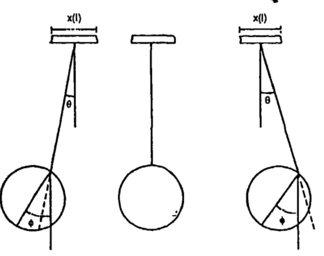


شكل ١٠,٤٢. نموذج اهتزازي لدرجتين من الحرية لاتصال الثمرة.
(عن: Tsatsarelis, 1987)

توجد ثلاث حالات للاهتزاز ذات أهمية في فهم آلية فصل الثمار. فحالة التقلب هي الأهم، والتي قد لوحظ وجودها من التجارب عند وقت الفصل.



شكل ١٠,٤٣ . نموذج اهتزاز بخمس درجات من الحرية لمجموعة عنق الفاكهة المعلقة في الهواء. (عن: Ruff et al., 1980)



شكل ١٠,٤٤ . حالات الاهتزاز المحددة، بندولية (يسار)، ساكنة (وسط)، متقلبة (يمين). (عن: Tsatsarelis, 1987)

وتسبب هذه الحالة إجهادات شد عالية عند ارتباط كأس الزهرة من الساق والفاكهة. وتحت عمليات النضج العادية، يصبح هذا الارتباط أضعف مع انتشار الطبقة الأفقية الطبيعية (abscission) . علاوة على ذلك، توجد شواهد تدل على انفصال المواد البيولوجية تحت دورات الإجهاد المتكررة، حيث لاتستطيع كل دورة منها إحداث هذا الانهيار بمفردها، ولكن، سوف يظهر الانهيار نتيجة تراكم الدورات في الساق أو اتصال كأس الساق. ·

والحالة الثانية في الأهمية للاهتزاز هي حالة الشد المحوري. وتنشأ هذه الحالة نتيجة تطبيقات القوة الموجهة عبر محور الساق. وفي اهتزازات الإثارة الجبرية لبناء النبات، يكون من السهل نسبيًا تخيل كيف يمكن وصول ساق الفاكهة المهزوز إلى وضع نسبي بحيث تنتج دورة الاهتزاز التالية عبئًا مباشراً على قوة الساق المحورية العالية نسبيًا، عبر فرض الشكل الهندسي. يمكن إدراك هذا الوضع عبر التعبير العام "شق السوط " الذي ينشأ من تعظيم قوى الشد بواسطة إعادة التوجيه المباشر لقوى العزوم.

الحالة البندولية وهي الحالة الثالثة وهي مهمة للإثارة إذا رغب في فصل الفاكهة مع سلامة الساق. ويصعب إثارة هذه الحالة إذا كانت السيقان طويلة نسبيًا مقارنة مع الحالة المائلة. وفي الحقيقة توجد كل الحالات الثلاث إلى درجات مختلفة وعند اتحادها يتم الفصل.

١٠,٤,٤ نماذج التصادم والإصابة الآلية

يمكن أن تؤثر الإصابة الآلية خلال عمليات الحصاد على كل من النبات والمنتج المحصود. ففي حالة القطف المتعدد للمحصول، يمكن أن يصاب المنتج غير المحصود أيضًا. وسوف يكون التركيز في هذا القسم على النماذج التي تحاول وصف الإصابة للمنتج المحصود. ويوجد أربعة مكونات أساسية للعطب في الفاكهة والخضار والتي تؤدي إلى تقليل قيمة المنتج. والأربع مكونات هي جهد الضغط، جهد القص، جهد التسلق، وجهد الفصل. وتحليل الجهد في الثلاث محاور في الشكل المركب مع أجسام غير سوية الخواص يكون صعب جداً. ووجود الجلد الوقائي (عادة صلبة)

فوق المنتج هي مثال واحد للوضع غير السوي. ومعظم ظروف التحميل التي تلاحظ تحت الظروف التطبيقية هي مزيج من مكونات التحميل الأربع السابقة. ومن أجل التصميمات الهندسية، يمكن اشتقاق معلومات مفيدة في صورة معادلة من ملاحظات تجريبية (فيزيائية). ويجب العناية عند تطبيق النتائج التجريبية على المنتجات غير المطابقة أو الظروف.

رد فعل قوة الصدمة لكرة على سطح مستو. إذا اصطدم سطح مستو ثابت بجسم كروي الشكل ساقط تحت تأثير الجاذبية، فإن القوة الكلية الناتجة المبذولة على السطح تكون دالة في الكتلة، وسرعتي الاصطدام والارتداد للكرة. وينشأ هذا من تطبيق قانون نيوتن الثاني كما هو معطى بـ:

$$I = \int_0^{t_c} f(t)\, dt = m\,(v_2 - v_1) \qquad (١٠,٢٨)$$

حيث:

I = الصدمة، نيوتن. ث

$f(t)$ = قوة الالتصاق كدالة في الوقت، نيوتن

t = زمن التلامس، ث

t_c = زمن التلامس الكلي، ث

m = كتلة الكرة، كجم

v_1 = سرعة مركز الكتلة قبل التلامس، م/ث $(t = 0)$

v_2 = سرعة مركز الكتلة بعد التلامس، م/ث $(t = t_c)$.

ويحدد معامل الارتداد (r) بـ:

$$r = - v_2 / v_1 \qquad (١٠,٢٩)$$

حيث تحدد السرعات (v_1) و(v_2) كما هو موضح أعلاه، وتعكس الإشارة السالبة حقيقة أن اتجاه الارتداد معاكس لاتجاه التصادم.

إذا فرض شخص معين (r) بقيمة أكبر من الصفر وتناول وثبتين متتاليتين، فإن الاصطدام الأول:

$$I_1 = m (v_2 - v_1)$$

والاصطدام الثاني، بإهمال فواقد احتكاك الهواء:

$$I_2 = m (v_3 - v_2)$$

وإذا فرض أن معامل الارتداد ذو قيمة ثابتة لكل من الصدمتين، فإنه يمكن توضيح التالي:

$$r = I_2 / I_1 \qquad (١٠,٣٠)$$

لذا، عن طريق قياس دفع الصدمتين المتتاليتين، يمكن تقدير معامل الارتداد تجريبيًا.

ومن المحتمل أيضًا تقدير كتلة الثمرة من رد فعل الصدمة بـ:

$$I_1 = m (v_2 - v_1) = m\, v_1 \left(\frac{v_2}{v_1} - 1\right)$$

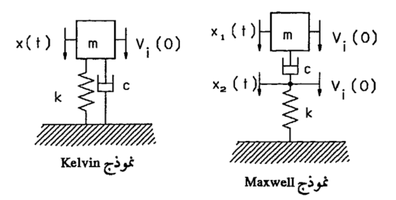
أو

$$m = - I_1 / \left[v_1 (1 - r)\right] \qquad (١٠,٣١)$$

ويمكن تقدير السرعة الأولية للاصطدام (v_1) بمعرفة ارتفاع السقوط الحر تحت تسارع أرضي ثابت. لذا، من المحتمل التحديد التجريبي لمعامل الارتداد وكتلة الكرة التي تسقط من ارتفاع معين على سطح أملس صلب بقياس وتحليل صدمتين متتاليتين.

حتى هذه النقطة، فالشكل الحقيقي لـ [f (t)] لم يحدد، وفي حقيقة الأمر، لايؤثر الشكل على المعادلات السابقة. وشكل منحنى قوة التصادم [f (t)] دالة في صلابة الفاكهة والكبت كما سوف يشاهد في الجزء التالي.

نماذج الصدمات مع مؤثرات الصلابة والكبت. من أجل الأغراض الهندسية العادية، فعادة يمكن فرض أنه بالإمكان تصميم نماذج ذات درجة أو درجتي حرية لقوة الصدمة وتشكلات التلامس على منتجات الفاكهة والخضار المحدبة وذات السطح الصلب المستوي. يوضح الشكل رقم (١٠,٤٥) نموذجين. فنموذج (Kelvin) ذو درجة حرية واحدة مع معامل تجمع الكتلة، ومواصفات الزنبرك والمضاءلة. بينما يحتوي نموذج (Maxwell) على نفس المكونات الفيزيائية للتجميع كما في نموذج (Kelvin) ولكنه يعتمد على ترتيبات فيزيائية مختلفة. وتحدد النماذج ذات معامل التجميع بواسطة ثوابت المعامل التي تمثل ظروفًا متغيرة. على سبيل المثال، ففي كل النماذج يفرض أن جميع الكتل متكتلة "مجمعة" في وحدة واحدة وتتحرك بدون تشكلات داخلية، رغم فرض أن حركة الكتلة المركزية هي حركة جميع الكتل.



شكل ١٠,٤٥. نموذج (Kelvin) ونموذج (Maxwell) للصدمة المرنة (viscoelastic) مع سطح ثابت.

ويقدم كل نموذج رؤية ومعلومات هندسية نافعة. ولكن كل نموذج أيضًا معرض لقيود ومحددات معينة. فبالإضافة إلى فرضية عامل التجميع، فإيجاد الظروف الأولية مع إمكانية تبريرها فيزيائيًا، تؤدي أحيانًا إلى نتائج رياضية غير

منطقية فيزيائيًا. فمع انشاء كل نموذج، سوف يتحدد مزيد من أمثلة الاختلافات بين التمثيلات الرياضية والفيزيائية. وسوف يدرس نموذج (Kelvin) ذو درجة الحرية الواحدة أولاً.

قبل اعتبار معادلات الحركة للنموذجين في الشكل رقم (١٠, ٤٥) سوف يصمم فهم للظروف الأولية. تم اعتبار النماذج في حالة السكون، بدون تأثير الجاذبية، عند وقت ماقبل الصدمة. يفترض وجود هذه الحالة طول الوقت، $(t < 0)$. وعند $(t = 0^+)$، يعتبر أن الكتلة قد حصلت على سرعة لحظية (V_i) في الاتجاه الموضح في الشكل رقم (١٠, ٤٥). عند هذا الوقت، يحدث اتصال مع السطح الثابت وتعتبر الإزاحات الأولية لجميع متغيرات الإزاحة صفراً. وأي من النموذجين غير معرض لدالة.

وبما أن الاتصال يستمر فقط إذا كانت قوة الاتصال موجبة، فإن معادلات الحركة للنموذج تكون سارية خلال فترة الاتصال الأولية. وحالما تصل قوة الاتصال إلى الصفر، فتعتبر عملية الصدمة الأولية قد انتهت وسرعة الكتلة - إن وجدت - تعتبر سرعة الارتداد. ويمكن جعل اختيار وحدات معادلة الحركة ثابتة مع المعادلات نفسها. ويمكن استخدام أي مجموعة وحدات ثابتة.

يتم وصف نموذج (Kelvin)، بصفته نظام ذي درجة حرية واحدة، عبر معادلات الحركة التالية:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + k x = 0 \quad (١٠, ٣٢)$$

و أن الحل العام لهذه المعادلة يكون في الصورة:

$$x = x_c + x_p \quad (١٠, ٣٣)$$

والحل المتمم (x_c) فقط هو المفضل لأن الحل الخاص (x_p) في هذه الحالة يكون صفراً. وتكون المعادلة المميزة (أو المعادلة المساعدة):

$$m\,\lambda^2 + c\,\lambda + k = 0 \qquad (١٠,٣٤)$$

وإذا كانت $(\omega_n^2 = k/m)$ و$(\zeta = c / 2m\,\omega_n)$ ، حيث تسمى (ζ) معامل المضاءلة، فإن :

$$\lambda_1 = \omega_n \left(-\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1}\right) \qquad (١٠,٣٥)$$

و

$$\lambda_2 = \omega_n \left(-\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1}\right) \qquad (١٠,٣٦)$$

وسوف يكون جذرا المعادلتين (λ_1) و(λ_2) حقيقيين وواضحين، وحقيقيين ومتساويين، أو مركبي الاشتقاق عندما تكون (ζ) أكبر من واحد، وتساوي واحداً، أو أقل من واحد، على الترتيب.

إذا كانت (ζ) أكبر من واحد فإن النظام يكون متجاوز المضاءلةوالحركة الترددية غير ممكنة كما تعطى عبر الحل التكميلي لمتجاوز المضاءلة.

$$x_c = A\,e^{-\lambda_1 t} + B\,e^{-\lambda_2 t} \qquad (١٠,٣٧)$$

حيث (A) و(B) ثابتان يتم إيجادهما من الظروف الابتدائية.

التضاؤل الحرج هو حالة رياضية خاصة جداً، ونادراً، يرى في عالم الفيزياء، حيث $(\zeta = 1)$ وبوضوح $(\lambda_1 = \lambda_2 = -\omega_n)$. وفي هذه الحالة الخاصة، يعطى الحل التكميلي بـ:

$$x_c = (C + D\,t)\,e^{-\omega_n t} \qquad (١٠,٣٨)$$

ومرة أخرى (C) و(D) ثابتان يتم إيجادهما من الظروف الأولية.

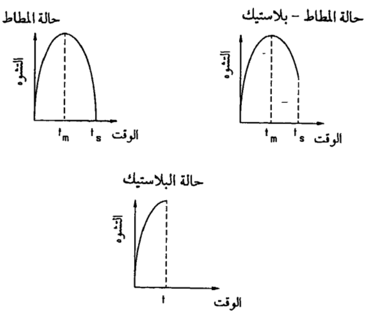
ويتصادف عادة وجود حالة ناقص المضاءلة، $(\zeta < 1)$ في الفواكه والخضراوات الطازجة الناضجة، ويعطى الحل التكميلي بـ:

$$x_c = (A \cos \omega_d\ t + B \sin \omega_d t)\, e^{-\zeta \omega_n t} \qquad (١٠,٣٩)$$

حيث يعطى تردد المضاءلة الحرة $\left[\omega_d^2 = (1 - \zeta^2)\, \omega_n^2\right]$ بواسطة التعريف. فإذا أخذت الإزاحة الأولية بصفر والسرعة الأولية (V_i) فإن $(A = 0)$ و $(B = V_i / \omega_d)$.

أما نموذج (Maxwell) فيزداد تعقيداً لاحتوائه على درجتي حرية. عبر المثال، سوف تشتق هذه المعادلات باستخدام معادلات (LaGrange). ويمكن بعد ذلك الحصول على الحل المتمم، عبر استخدام أحد برامج الرياضيات الجاهزة مثل (MAPLE) والذي ينتج حلاً جبريًا مركبًا إلى حد ما. ويمكن أيضًا استخدام حل الحاسوب الآلي (TUTSIM) للمعادلات التفاضلية.

وكلا النموذجين (Kelvin) و(Maxwell) نافعان في عرض ظاهرة الصدمة. وبناء على الكتلة النسبية، والصلابة، والطاقة الكامنة المتصة من جسم الصادم، فيمكن



شكل ١٠,٤٦. منحنيات تشوهات الصدمة للمنتجات مع ظروف المطاط، البلاستيك، والمطاط البلاستيك.

عرض رد فعل صدمة المرن، واللدن، أو المرن اللدن كما هو موضح في الشكل رقم (٤٦ , ١٠). ويصف معامل الارتداد (r) سلوك الصدمة ١ مرن، صفر لدن ويكون $(0 < r < 1)$ مرنًا لدنًا.

مثال رقم (١٠ , ٥)

استخدم معادلة (LaGrange) لإيجاد معادلات الحركة لنموذج (Maxwell) الموضح في الشكل رقم (١٠ , ٤٥). اهمل الجاذبية.

الحل. التعبيرات والمصطلحات اللازمة لمعادلات (LaGrange) مدونة كما يلي:

$$P.E. = \frac{k\,x_2^2}{2} \qquad (١٠ , ٤٠)$$

$$K.E. = \frac{m}{2}\left(\frac{d\,x_1}{dt}\right)^2 \qquad (١٠ , ٤١)$$

$$D.E. = \frac{c}{2}\left[\left(\frac{dx_2}{dt}\right)^2 - \left(\frac{dx_1}{dt}\right)^2\right] \qquad (١٠ , ٤٢)$$

$$Q = 0$$

حيث لايوجد معادلة عامة للقوة.

وبعد حساب التفاضلات الجزئية اللازمة والإحلال، تصبح المعادلة رقم (١٠ , ٢١):

$$m\,x_1 - c\,(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = 0 \qquad (١٠ , ٤٣)$$

و

$$k\,x_2 + c\,(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = 0 \qquad (١٠ , ٤٤)$$

وفي حالة$[x_1(0) = x_2(0) = 0]$ ، و :

$$\frac{d x_1(0)}{dt} = \frac{d x_2(0)}{dt} = v$$

يكون الحل للمعادلتين رقمي (٤٣ , ١٠) و(٤٤ , ١٠) :

$$x_1(t) = - \frac{-v m}{c} - 2 \frac{c v m^{1/2} e^{-kt/2c} \sinh(\beta)}{k^{1/2} (-4c^2 + m k)^{1/2}}$$

$$+ \frac{v m^{3/2} k^{1/2} e^{-kt/2c} \sinh(\beta)}{c(-4c^2 + m k)^{1/2}} + \frac{v m e^{-kt/2c} \cosh(\beta)}{c}$$

$$x_2(t) = -2 \frac{c v m^{1/2} e^{-kt/2c} \sinh(\beta)}{k^{1/2} \left(-4c^2 + m k\right)^{1/2}}$$

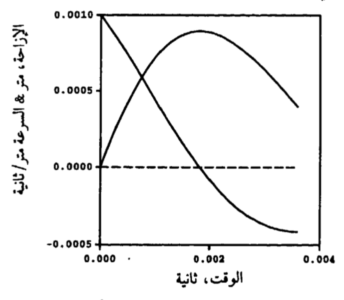
$$\beta = 1/2 \frac{k^{1/2} \left(-4c^2 + m k\right)^{1/2} t}{m^{1/2} c}$$

نتائج وتطبيقات نماذج الصدمة. مازال نموذج (Kelvin)(Bower and Rohrbach, 1976) ونموذج (Kelvin) المزدوج في تتابع (Glass and Rohrbach, 1980) يستخدمان لتقدير صدمات فاكهة التوت الأزرق. للتوت الأزرق، تتراوح الكتلة من أقل من ١ جم إلى حوالي ٣ جم، ثابت المضاءلة بين ٠.١ و ٨.٠ نيوتن.ث/م. ويمكن لثابت الزنبرك أن يأخذ القيم من ٥٠٠ إلى ٨٠٠٠ نيوتن/م. وقد تم اختيار معاملات النموذج الحقيقية لتطابق معامل الارتداد للثمرة المفردة أو قوة الالتصاق والسرعة القياسية للارتداد الآلي. وقد وجد أن نموذج كتلة الثمرة في الغالب أقل بصورة بسيطة من كتلة الثمرة الحقيقية.

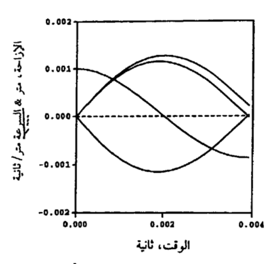
جدول ١٠,٣. عوامل الصدمة والنتائج بالحل بطريقة معادلات (Kelvin) و (Maxwell) للحركة لنماذج التوت الأزرق.

m (جم)	c (نيوتن . ث/ م)	k (نيوتن/ م)	F_{peak} (نيوتن)	t_s (مللي . ث)	r	الشكل رقم	d_p (م)
١,٥٤	٠,٧٥	٧٩٧	٠,٧١٣	٣,٦٠	٠,٤١٤	١٠,٤٧	٠,٤٠
١,٥٤	١٢,٠	١٠٠٠	١,٢٧	٣,٨٥	٠,٤١٤	١٠,٤٨	٠,٢٨

يلخص الجدول رقم (١٠,٣) عوامل الصدمة المستخدمة في حل الحاسوب الآلي لصدمة التوت الأزرق الناتجة من نموذج (Kelvin) الموضح في الشكل رقم (١٠,٤٧) ونموذج (Maxwell) الموضح في الشكل رقم (١٠,٤٨). وفي كلتى الحالتين، يكون معامل الارتداد ٠,٤١٤ مع كتلة النموذج ١,٥٤ جم. وحددت قيمة ثابت المضاءلة وثابت الزنبرك تجريبيًا في نموذج (Maxwell) للحصول على عوامل ارتداد متساوية لكلي النموذجين المختلفين.



شكل ١٠,٤٧. الحل لنموذج (Kelvin) للتوت الأزرق، انظر الجدول رقم (١٠,٣) لقيم ونتائج النموذج.



شكل ١٠,٤٨. الحل لنموذج (Maxwell) للتوت الأزرق، انظر الجدول رقم (١٠,٣) لقيم ونتائج النموذج.

حالما تحسب معاملات التشكلات في أجزاء نموذج الزنبرك $[x_1(t)]$ لنموذج (Kelvin) و$[x_2(t)]$ لنموذج (Maxwell)، فتحسب قوة الارتداد $[f(t)]$ بسهولة كنتيجة من التشكل وصلابة الزنبرك (K). ومع ذلك، يتنبأ نموذج (Kelvin) بقوة ارتداد غير صفرية عند وقت الارتداد أو الفصل، والتي تكون غير مفيدة عمليًا، ولكنه ناتج من محاولات النموذج لتخزين الطول الحر الساكن لجزء الزنبرك غير المضغوط. وإذا كانت هناك محاولة لتصحيح التنبؤ بقوة الالتصاق غير الصفرية عند وقت الارتداد عن طريق طرح مركبة القوة المرتبطة مع جزء المضاءلة اللزج، فتزيد قوة التلامس الابتدائية درجة عند $(t = 0^+)$ مع تكبير $[c\,(dx_1/dt)]$. ويتنبأ نموذج (Kelvin) بتشكل الفاكهة الدائم بعد الفصل في حالة وقوع الفصل الحقيقي.

ويأتي نموذج (Maxwell) أقرب في تقدير قوة الصدمة الناتجة خلال الارتداد والتي تكون ثابتة مع الملاحظة الفيزيائية بالإضافة إلى تشوه الفاكهة الدائم (d_p) مع قيمة بـ $[x_2(t_r)]$ حيث (t_s) الزمن خلال الفصل. وتوضح النتائج التكميلية لنموذجي الصدمة في الجدول رقم (١٠,٣) بعض الاختلافات بين زمن الاتصال المتوقع، قمة قوة الصدمة، والتشكل الثابت للفاكهة (d_p) بعد الصدمة لعوامل ارتداد مماثلة. ومن المهم تذكر أن النماذج الهندسية نافعة للغاية إلى الحد الذي يساعد المهندس في فهم

الوضع الفيزيائي المعروض والعوامل الهندسية المرغوب فيها، ولكن لايمكن تشكيل جميع الظواهر الفيزيائية في الأوضاع الحقيقية في نماذج دقيقة.

وفي التطبيق، تؤخذ معظم قيم (k) من اختبارات قوة التشكل التجريبية (Instron Universal Tester™) أو بيانات اختبار السقوط، وتكون صحيحة فقط لحجم وظروف ذلك الاختبار. وإنشاء جهد الاتصال في الأبعاد الثلاثة خلال صدمة الفاكهة خارج عن نطاق أهداف هذا الكتاب. ويعرض المزيد من الظواهر النظرية لانسياب الغذاء والخواص الفيزيائية في (Mohsen in, 1970). ويعتبر (Goldsmith, 1960) مرجعًا رائعًا لمزيد من النقاش في حالات الصدمة.

ولقد ذكر أن معامل الارتداد للخوخ قد قيس بنجاح واستخدم لتحديد صلابة حبة الفاكهة (Meredith, Leffler and Lyon. 1988). وقدر معامل الارتداد من بيانات جمعت من ارتدادين متتالين على جهاز قياس لخلية الشد. ولم يؤثر الصنف، وحجم الفاكهة، ولا ارتفاع السقوط على تقدير معامل الارتداد ضمن حدود المتغيرات المختبرة.

وقد صمم واختبر مجس الصدمة لتقدير صلابة التفاح والكمثرى (Delwiche et. al., 1991). حيث تقوم أسطوانة هوائية صغيرة بتحريك سطح التصادم أماميًا إلى جهة الفاكهة الساكنة. وتجس قوة الصدمة بمقياس التسارع المتصل بسطح الصدمة. وقد وجد علاقة قوية بين قمة تباطؤ الصدمة وصلابة الفاكهة عبر الاختبار.

١٠,٥ عوامل الأداء

تشتمل المعايير الأساسية المفيدة في تخفيض أو إزالة الإصابة للمنتجات المحصودة على عدد من المواضيع المعقدة. أساسيًا، تظهر الكدمة نتيجة امتصاص الطاقة غير المرغوبة في نسيج المنتج. ويظهر المنتج الذي يسقط حرًا على سطح استقبال في تطبيقات التباطؤ أو قوة الصدمة. وعندما تنتشر هذه القوة فوق مساحة أو منطقة الصدمة سوف تؤثر على المنتج إذا كانت القيم الحادة لجهد القص أو الضغط فاقت اللازم لحصاد المنتج. وتتسبب أجزاء الحصاد المصممة لنقل طاقة الاهتزاز إلى مواد النبات في الكدمات أحيانًا. تصادم الفاكهة مع فاكهة أخرى خلال السقوط الحر

أو عند أسطح التجميع تكون مصدراً شائعًا آخر للإصابة.

١٠,٥,١ الإصابة

تعتبر الكدمات، والقطع، والكحت، والإصابة المباشرة لبقايا النبات مؤثرات غير مرغوبة في عمليات الحصاد الحقلي. والإصابة المباشرة تخفض من قيمة المنتج في السوق والرغبة العامة للمستهلك. وإصابة النبات، في مشاريع الحصاد المتعددة، غير مرغوبة أيضًا لأن الحصاد المتبقي سوف تنخفض قيمته.

الإصابة عادة تراكمية وتتناسب مع الطاقة الكلية الممتصة بواسطة نسيج الفاكهة. وفي التوت الأزرق على سبيل المثال، يتسبب السقوط لست عشرة مرة من ارتفاع ٢ سم على سطح مستو صلب في نفس الإصابة عند السقوط لثمان مرات من ارتفاع ٤ سم أو أربع سقطات من ارتفاع ٨ سم. بوضوح، إن الأساس الأول والأكثر أهمية في خفض الكدمات هو تخفيض كمية الطاقة الحركية التي تحويها الفاكهة عند أي وقت خلال العمليات الآلية.

وترعى وزارة الزراعة الأمريكية انتشار معايير قياسية لمعظم المنتجات الشائعة النمو أو المسوَّقة في الولايات المتحدة الأمريكية بصورة طازجة أو معالجة. وفي بعض الحالات نفذت هذه المعايير القياسية على مجموعة واسعة من عوامل النوعية التي استخدمت لإيجاد التدريج التسويقي لأنواع معينة من المنتجات المنقولة (المشحونة). على سبيل المثال، يلخص الشكل رقم (٤٩ , ١٠) جدولاً لمعايير تدريج التفاح لـ (USDA). وفي حالة التفاح، يسمح بتوحيد تصنيف الفرز.

١٠,٥,٢ الكفاءة

كفاءة الحصاد الحقلية لعمليات الحصاد المتعددة تكون مفيدة فقط عندما تقارن مع بعض المعايير الموجودة أو المقبولة. ولا يوجد تعبير واحد لكفاءة الحصاد الحقلي. وتعرف غالبًا بالعائد الاقتصادي للمنتج كنسبة من الحصاد الكلي المتوفر. وأحيانًا، يؤخذ هذا الحصاد الكلي المتوفر على أنه "الحصاد اليدوي" . ومع هذا، فمعظم طرق الحصاد اليدوي لها مقاييس فقد سواء الفقد الأرضي أو المنتج غير المحصود.

شكل ٤٩,١٠. جدول ملخص لمقاييس الولايات المتحدة الأمريكية لتدريج التفاح.

	أمريكي ممتاز	أمريكي جيد	أمريكي رقم ١	أمريكي مقبول
النضج	ناضج ولكن غيرزائد النضج	ناضج ولكن غيرزائد النضج	ناضج ولكن غيرزائد النضج	ناضج ولكن غيرزائد النضج
الجروح	خالي من	القطر لايزيد عن $\frac{1}{4}$ بوصة	بالمثل كما في أمريكي جيد	القطر لايزيد عن $\frac{3}{4}$ بوصة
اللون البني	١. غير مشابه (لايزيد عن ١٠٪من السطح) ٢. ناعم صلب (لايزيد عن ٥٪ من السطح) ٣. خشن قليلاً (لايزيد عن $\frac{1}{4}$ بوصة) ٤. خشن (لايزيد عن $\frac{1}{4}$ بوصة)	لايزيد عن ١٥٪ من السطح لايزيد عن ٥٪ من السطح بالمثل كما في الممتاز بالمثل كما في الممتاز	لايزيد عن ٢٥٪ من السطح لايزيد عن ١٠٪ من السطح بالمثل كما في الممتاز بالمثل كما في الممتاز	مسموح بأي كمية لايزيد عن $\frac{1}{2}$ السطح لا يقلل من المظهر أكثر من الحالة الناعمة الصلبة
حرق من الشمس أو الرش	يجب أن يمتزج باللون	القشرة غير متصدعة ويجب امتزاجها باللون	بالمثل كما في الجيد	غير منكمشة بشدة من حيث المظهر
امتداد الورقة (البتلة)	لايزيد عن $\frac{1}{4}$ بوصة	لايزيد عن $\frac{1}{2}$ بوصة	بالمثل كما في الجيد	لا يزيد عن $\frac{1}{10}$ السطح
علامات البرد	١. عندما لاتكسر القشرة ٢. عندما لايكون السطح متغير اللون ٣. عندما لايزيد العمق عن $\frac{1}{16}$ بوصة ٤. لايزيد قطر البقعة عن $\frac{1}{8}$ بوصة أو لايزيد التجمع عن $\frac{1}{2}$ بوصة	لايزيد محيط القشرة غير المكسورة عن $\frac{1}{2}$بوصة لايزيد عمقها عن $\frac{1}{8}$بوصة معالج متميز لايزيد قطره عن $\frac{1}{2}$بوصة	بالمثل كما في الجيد	لاتزيد نسبة السطح غير المكسور عن ١٠٪ من المحيط، القشرة المكسورة المعالجة بعناية لاتزيد قطرها عن $\frac{1}{2}$بوصة

تابع شكل ٤٩,١٠.

	أمريكي ممتاز	أمريكي جيد	أمريكي رقم ١	أمريكي مقبول
تصدعات الساق والكأس	عندما يعالج جيداً أو لا يزيد الطول الكلي عن $\frac{1}{4}$ بوصة	بالمثل كما في الممتاز	بالمثل كما في الممتاز	عندما يعالج جيداً أو لا يزيد طوله عن $\frac{1}{4}$ بوصة
صدأ الأرز	لا يزيد القطر عن $\frac{3}{16}$ بوصة	لا يزيد المجموع عن $\frac{1}{4}$ بوصة	بالمثل كما في الممتاز	لا يزيد عن $\frac{3}{4}$ بوصة
بقع سوداء أو بقع الذباب	غامق وثقيل، لا تزيد سماكته عن $\frac{1}{4}$ بوصة. رقيق، لا يزيد عن ٥٪ من السطح	غامق وثقيل. لا تزيد سماكته عن $\frac{1}{2}$ بوصة، لا يزيد عن ١٠٪ من السطح	بالمثل كما في الجيد	لا يزيد عن $\frac{1}{3}$ السطح
وخزات	لا يزيد القطر عن $\frac{1}{4}$ بوصة	لا يزيد القطر عن $\frac{3}{16}$ بوصة	بالمثل كما في الجيد	لا يزيد القطر عن $\frac{1}{4}$ بوصة
ثقوب الديدان	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد
فساد	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد

نسبة اللون المطلوبة حسب الصنف الاختلاف والتدريج

ـ ديليشس أحمر	٦٦	٤٠	٢٥	لايوجد
ـ ديليشس	٥٠	٢٥	١٥	لايوجد
ـ روماني أحمر	٦٦	٤٠	٢٥	لايوجد
ـ روماني	٥٠	٣٣	١٥	لايوجد
ـ ستاي مان أحمر	٦٦	٤٠	٢٥	لايوجد
ـ ستاي مان	٥٠	٣٣	١٥	لايوجد
ـ واين سان	٦٦	٤٠	٢٥	لايوجد
ـ جولدن ديليشس	٧٥٪ خصائص اللون	بالمثل كما في الممتاز	خصائص لون الأرض	لايوجد

ـ التوليفات المسموح بها التدريجات: ـ توليفة أمريكي ممتاز ـ توليفة أمريكي جيد ـ توليفة أمريكي رقم ١ وأمريكي مقبول
ملاحظة: يجب أن تتوافق نسبة ٥٠٪ على الأقل مع الرتبة الأعلى لكي تتأهل كتوليفة تدريجية.
ـ التدريجات الأخرى: ـ أمريكي رقم ١ مبكر: بالمثل كما في أمريكي رقم ١ ماعدا، ٢ بوصة على الأقل غير تامة النضج، ولاتوجد متطلبات لون.
ـ أمريكي رقم ١ مبرد: يجب أن يحقق جميع متطلبات الأمريكي رقم ١، ماعدا السماح بعدد غير محدود من المعالجات لعلامات البرد مع اعتبار أن التفاح كامل التشكيل.
ـ أعدت ووزعت من قبل قسم المحاصيل البستانية، إدارة التسويق، وزارة الزراعة بولاية كارولينا الشمالية، رالي، كارولينا الشمالية ـ رمز بريدي ٢٦٧٦١١، هاتف ٧١٣٦-٧٣٣-٩١٩

ابريل ١٩٨٣

يعتبر الفقد الأرضي عاملاً مهمًا في نظم الحصاد الآلي. ويحدد الفقد الأرضي كنسبة من الحصاد الكلي أو الحصاد الصافي. وهذا لايلتبس مع الفقد الأرضي لما قبل الحصاد الذي يمكن أن ينتج من ظروف طقس ماقبل الحصاد أو الفقد الأرضي نتيجة عوامل تأخير حصاد.

١٠,٥,٣ الاعتمادية

بما أن الفاكهة، والخضر، والنُقْل هي عادة منتجات ذات قيمة عالية، فيجب تصميم منظومات حصاد بأساليب عالية في متوسط الزمن بين الأعطال (MBTF) .
وبما أن فترة الحصاد عادة تتركز في وقت قصير، فيجب أن تخدم منظومة الحصاد وتجرى لها جميع عمليات الصيانة اللازمة قبل موسم الحصاد السنوي. وفي تصميم هذه المنظومات، يجب استخدام الأجزاء القياسية حالما تكون متوفرة في السوق المحلي لضمان توفر قطع الغيار في حالة العطل.

بما أن المنتج الغذائي الذي يتم حصاده يستخدم للاستهلاك الآدمي، فيجب على المصمم الاهتمام لتجنب احتمالات تلوث المنتج بالزيت الهيدرولي أو السوائل الأخرى للآلة. ويجب إعطاء عناية خاصة لتقليل المواقع على الآلة التي يمكن أن تتراكم عليها البقايا غير المرغوب فيها. وسوف تحتاج الآلية نفسها إلى أن تكون نظيفة دوريا لإزالة المتراكم من الميكروبات البيولوجية التي يمكن أن تؤثر عكسيًا على نوعية المنتج المحصود.

تحتاج سلامة الأفراد الذين يعملون مع منظومة الحصاد إلى عناية خاصة. وأحيانًا أجزاء الآلة التي تؤدي وظائف حصاد نافعة يجب أن تكون سلعة سهلة المنال من أجل التشغيل المناسب ولايمكن حمايتها في موقعهامن تناول الانسان. فجميع الأماكن الخطرة يجب تغطيتها إلى أقصى حد ممكن ويحذر جميع الأفراد إلى أقصى حد ممكن من الخطورة الكامنة. وتحتاج أساليب التشغيل القياسية إلى فصل القدرة عن جميع فعاليات الصيانة والتغيير. ويجب تطبيق جميع المعايير التطبيقية للتصميم الهندسي الآمن لآليات حصاد الفاكهة، والخضر، والنُقْل.

تمارين على الفصل العاشر

١ , ١٠ في ولايتك، قدر الأهمية النسبية لمنتجات الفاكهة، والخضر، والنُّقل (مقارنة مع الولايات الأخرى). أي من هذه السلع يكون الأكثر أهمية للدخل الزراعي لولايتك؟

٢ , ١٠ لكل من الـ ٢٤ توليفة المحتملة لعمليات الحصاد العملي، رتب على الأقل مثالاً واحداً لسلعة بأكبر قدر ممكن من التوليفات. على سبيل المثال، الحصاد اليدوي للتفاح عملية مكافئة للاختيار، والتحكم، والفصل، والنقل.

٣ , ١٠ صمم كتلتي هزاز قصور ذاتي (متزامنة ودوارة عند سرعات دورانية متساوية) التي سوف تنشأ عنها صدمة خطية – أو + ٤ سم عند تردد ٢٥٠ هرتز تعمل على هيكل الهزاز ومواد النبات مكافئة لكتلة ١٠٠ كجم.

٤ , ١٠ عدل تصميم الهزاز الخطي (سرعات دورانية غير متساوية) في التمرين رقم (٣, ١٠)، لإنتاج طراز هز ذي ستة اتجاهات. وكل صدمة ناجحة تعالج ٦٠ من الصدمة السابقة. هل من الضروري تعديل الكتل في كتل التوازن الدورانية؟

٥ , ١٠ قم بزيارة مزرعة كبيرة تنتج الفاكهة، والخضر، والنقل بالقرب منك. قابل المزارع كمجموعة الأسئلة التالية بعد إضافة ثلاثة من الأسئلة الخاصة بك لهذه المجموعة: ماهي أدوات الحصاد أو الوسائل التي تحتاج إليها؟ ماهي عمليات الحصاد في الآلة الموجودة المراد تحسينها؟ ماهي وسائل السلامة ذات الاهتمام للمزارع نسبة إلى أدوات الحصاد؟

٦ , ١٠ ما هو التأثير في الاتجاه النسبي لدوران الكتلتين في الهزاز الكامن الموضح في الشكل (٣٩ , ١٠)؟ وتأثير الإزاحة الزاوية الابتدائية؟

٧ , ١٠ برمج المعادلة رقم (١١ , ١٠) في الحاسوب الآلي بأسلوب يسمح بتقدير مجموعات متغيرة من قيم الكتلة، والتردد، ونصف قطر الدوران، . . . إلخ. حدد تجريبيًا العلاقة بين الترددات الزاوية النسبية وعدد النتوءات في طرز الإزاحة. ماهي أهمية التعظيمات النسبية للكتل الدوارة في تحديد شكل النتوء؟

٨ , ١٠ لقد فرض أن السعة النسبية للإزاحة في كتلة الأساس (M) في الشكل رقم (٣٩ , ١٠) يجب أن تكون ١٪ فقط من أصغر نصف قطر دوران لأي من الكتل

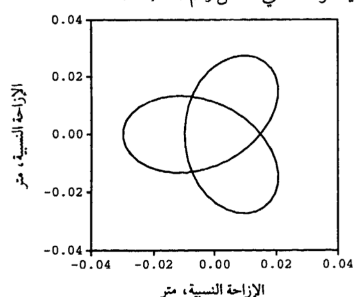
النشطة . ماهي أقصى كتلة دورانية نسبيًا، التي يمكن أن تستخدم مقارنة مع كتلة الأساس (M)؟ هل يعتمد هذا الناتج على طراز الإزاحة الناتج؟ ولماذا؟

٩ , ١٠ يعتقد أن السرعة الحدية للمنتج المحصود تكون في حدود ٣٠ م/ ث . إذا أردت تأكيد هذا التقدير بواسطة قياس حقيقي لزمن السقوط الحر، ماهو ارتفاع السقوط الواجب استخدامه؟

١٠ , ١٠ كامل المعادلة رقم (١٩ , ١٠) للحصول على القدرة المتوسطة للهزاز المعطاة بواسطة المعادلة رقم (٢٠ , ١٠). اعرض جميع المراحل.

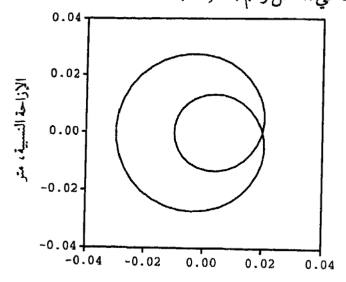
١١ , ١٠ ماهي سرعة الهواء التي يمكن أن تفرضها لاستخدامها في فصل الفراولة الخضراء عن الفراولة الناضجة (الحمراء) في الاتجاه الرأسي للفارز ذي الدفع الهوائي؟ اثبت اجابتك بوضوح.

١٢ , ١٠ يعرض الجدول رقم (٢ , ١٠) عوامل النموذج لإزاحات هزاز القصور الذاتي الموضح في الشكل رقم (٤٠ , ١٠). بواسطة نموذج حاسوب آلى للمعادلة رقم (١١ , ١٠)، حدد تغير عامل من عوامل النموذج الذي سوف ينتج في الإزاحات النسبية الموضحة في الشكل رقم (٥٠ , ١٠).

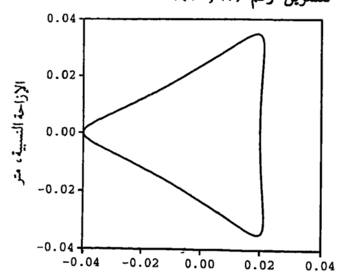


شكل ٥٠ ,١٠. إزاحة المركز لهزاز قصور ذاتي ذي كتلتين دورانيتين، للتمرين رقم (١٢ , ١٠).

١٣ , ١٠ بواسطة نموذج حاسوب آلي للمعادلة رقم (١١ , ١٠)، حدد تغير لعامل واحد من النموذج في التمرين رقم (١٢ , ١٠) الذي سوف ينتج في الإزاحات النسبية المعروضة في الشكل رقم (٥١ , ١٠).



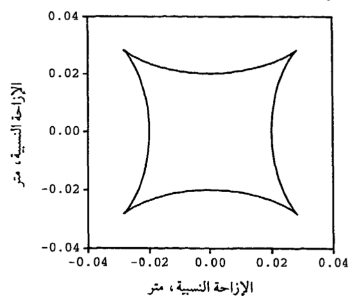
شكل ٥١ , ١٠. إزاحة المركز لهزاز قصور ذاتي ذي كتلتين دورانيتين، للتمرين رقم (١٣ , ١٠).



شكل ٥٢ , ١٠. إزاحة المركز لهزاز قصور ذاتي ذي كتلتين دورانيتين، للتمرين رقم (١٤ , ١٠).

١٤ , ١٠ بواسطة نموذج حاسوب آلي للمعادلة رقم (١١ , ١٠)، جرب وحدد تغيرات عامل النموذج الضرورية والتي سوف تنتج الإزاحة النسبية الموضحة في الشكل رقم (٥٢ , ١٠).

١٥ , ١٠ بواسطة نموذج حاسوب آلي للمعادلة رقم (١١ , ١٠)، جرب وحدد تغيرات عامل النموذج الضرورية والتي سوف تنتج الإزاحة النسبية الموضحة في الشكل رقم (٥٣ , ١٠).

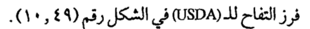


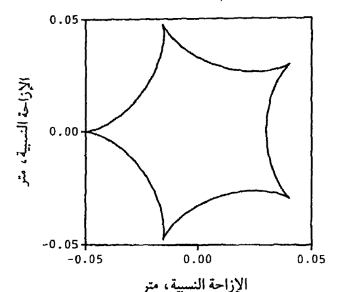
شكل٥٣ , ١٠. إزاحة المركز لهزاز قصور ذاتي ذي كتلتين دورانيتين، للتمرين رقم (١٥ , ١٠).

١٦ , ١٠ بواسطة نموذج حاسوب آلي للمعادلة رقم (١١ , ١٠)، جرب وحدد تغيرات عامل النموذج الضرورية والتي سوف تنتج الإزاحة النسبية الموضحة في الشكل رقم (٥٤ , ١٠).

١٧ , ١٠ بواسطة نموذج حاسوب آلي لمعادلات نموذج (Maxwell) للصدمة، جرب وحدد كيفية علاقة عوامل النموذج مع معامل الارتداد. هل توجد علاقة بسيطة بين عوامل النموذج (m) و(c) و(k) ومعامل الارتداد (r)؟ ماهي؟

١٨ , ١٠ لمحاصيل الفاكهة، والخضر، والنُقْل النامية في منطقتك، اوجد نسخة من مقياس فرز الـ(USDA) . اوجد جدولاً ملخصاً لمختصرات المقاييس مشابهة لمقياس


فرز التفاح للـ (USDA) في الشكل رقم (٤٩, ١٠).



شكل ٥٤, ١٠. إزاحة المركز لهزاز قصور ذاتي ذي كتلتين دورانيتين، للتمرين رقم (١٦, ١٠).

١٩, ١٠ لنموذج (Kelvin) لصدمة التوت الأزرق الموضح في الشكل رقم (٤٧, ١٠)، اوجد الزمن الدقيق للارتداد، بمعنى، الزمن عندما يتنبأ النموذج بأقصى سرعة ارتداد. ملاحظة: احسب تفاضلات الإزاحة المناسبة وابحث في الحدود القصوى لمعادلة السرعة.

٢٠, ١٠ استخدم الحاسوب الآلي لحل نموذج (Maxwell) للتوت الأزرق واحسب قوة الاتصال خلال الصدمة. قيِّم معامل الارتداد باستخدام المعادلة رقم (٣٠, ١٠). قارن هذه النتيجة مع معامل الارتداد من المعادلة رقم (٢٩, ١٠)، واشرح أي فروق.

٢١, ١٠ بناء على الرغبة الموجودة، اختر واحدة من براءات الاختراع من الجدول "شهادات براءة الاختراع" في الملحق (أ) واحصل على نسخة كاملة. ادرس هذه البراءة بعناية وقدم تقريراً إلى الفصل عن الطبيعة الحقيقية المغطاة في البراءة (يمكن أن ترغب في الحصول على براءة أخرى، بناء على ظروف المادة، للدراسة وتقديم التقرير).

الفصل الحادي عشر

نقل المواد الزراعية
Conveying of Agricultural Materials

مقدمة

يوجد العديد من الطرق المستخدمة لنقل المواد الزراعية. ويعتمد اختيار طريقة النقل على طبيعة التطبيق وعلى نوع المادة المنقولة. فقد تكون المادة الزراعية في صورة سائلة، أو حبيبية، أو مسحوقة، أو ليفية أو أي توليفة من تلك الصور. وفي هذا الفصل لايتم تغطية نقل المواد السائلة.

بصفة عامة، يتم النقل بواسطة توليفة من القوى الآلية، مثل: قوى القصور الذاتي، وقوى ضغط الهواء، وقوى الجاذبية. فالنواقل التي تستخدم أساسًا القوى الآلية، هي النواقل البريمية والنواقل ذات السلاسل. وتعتمد النواقل الهزازة على كل من قوى القصور الذاتي وقوى الاحتكاك. توظف النواقل التي تعمل بقوة ضغط الهواء سحب الهواء الدينامي لإتمام النقل. يعتمد النقل بواسطة القذف على دمج كل من قوى القصور الذاتي وقوى الهواء الدينامية. كما أن روافع الصوامع البرجية تستخدم هذه الأساسيات.

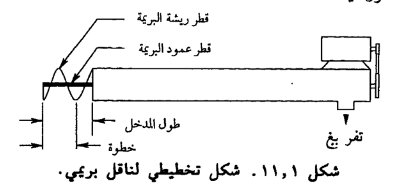
١١,١ النواقل البريمية

تستخدم البريمات لنقل المواد حرة السريان مثل الحبوب، والمواد الليفية الصعبة، والمساحيق. فعلى سبيل المثال، في آلة حصاد ودراس الحبوب، تستخدم البريمات لنقل المحصول المقطوع من على منصة الآلة إلى منطقة التغذية، وكذلك

لنقل الحبوب النظيفة من قاع غرابيل التنظيف إلى خزان الحبوب، وتستخدم كذلك لتفريغ خزان الحبوب إلى مقطورة أو شاحنة. تستخدم البريمات في نواقل الحبوب والمباني المزرعية لحمل الحبوب إلى صوامع التخزين وتستخدم كذلك في مجمع الحبوب لتوزيع التغذية.

١,١,١١ الطرق والمعدات

يتكون الناقل البريمي من عمود يحمل ريش حلزونية على سطحه الخارجي. تكون هذه الريش مغلفة إما في قناة للبريمات الأفقية أو في أنبوب لبريمات الرافع الرأسي. يترك الأنبوب أو القناة ثابتًا بينما يسبب دوران الريش تحريك المواد في الاتجاه الطولي. يبين الشكل رقم (١ , ١١) المكونات الأساسية للناقل البريمي. فعند جهة المدخل، تمتد ريش البريمة إلى خارج الأنبوب. وبشكل عام، يوجد قادوس لاحتواء المواد أثناء نقلها إلى الأنبوب. ويمكن تركيب البريمات بصفة دائمة في الآلة، أو عند الموقع، أو يمكن أن تكون قابلة للنقل. وتدار البريمات من جهة المدخل أو من جهة المخرج. وتوجد بعض البريمات التي تدار من المركز ولكنها غير شائعة في التطبيقات الزراعية.



شكل ١ , ١١. شكل تخطيطي لناقل بريمي.

يحدد طول البريمة بطول مجموع الأنبوب شاملاً أي مدخل ولكن لا يشمل قادوس الدخول أو رأس الجزء الدوار. وطول المدخل هو الريش المرئية عند مدخل البريمة. ويمثل القطر الخارجي للأنبوب حجم البريمة. والخطوة القياسية للبريمة هي الخطوة المساوية تقريبًا للقطر الخارجي للريش الحلزونية. وبصفة عامة، لا تقل

الخطوة عن ٠,٩ ولاتزيد على ١,٥ من القطر الخارجي. وتستخدم البريمات ذات الخطوة القياسية للنقل الأفقي والمائل بزاوية حتى ٢٠°. أما لزوايا ميل أكثر من ٢٠° ، فتستخدم بريمات ذات خطوات نصف قياسية. وتوجد بريمات ذات ريش مزدوجة وثلاثية، وخطوات متغيرة، وأقطار متدرجة، لتحريك المواد الصعبة وللتحكم في معدلات التغذية.

١١,١,٢ نظرية

يعبر عن السعة الحجمية النظرية للبريمة بالمعادلة التالية:

$$Q_t = \frac{\pi}{4}\left(d_{sf}^2 - d_{ss}^2\right) I_p\, n \qquad (١١,١)$$

حيث:

Q_t = السعة الحجمية النظرية، م^3/ث

d_{sf} = القطر الداخلي للغلاف، م

d_{ss} = قطر عمود البريمة، م

I_p = طول الخطوة، م

n = سرعة دوران البريمة، لفة/ث.

وفي الواقع، تعتبر السعة الحقيقية للبريمة أقل من السعة النظرية؛ ويسبب ذلك فقداً في الكفاءة الحجمية. وتعرف الكفاءة الحجمية كالتالي:

$$\eta_v = \frac{Q_a}{Q_t} \qquad (١١,٢)$$

حيث:

η_v = الكفاءة الحجمية

Q_a = السعة الحجمية الفعلية، م^3/ث.

عمومًا، يحدد معدل التغذية بوحدات كتلة (أو وزن) لكل وحدة زمن، على سبيل المثال، طن/ ساعة أو كجم/ دقيقة. ويتم الحصول على السعة الحجمية بقسمة معدل التغذية على الكثافة الظاهرية للمادة.

ويعبر عن متطلبات القدرة لبريمة ما بالقدرة النوعية. وتعرف القدرة النوعية كالتالي:

$$P' = \frac{P/L}{Q_a \ \rho_b} \qquad (١١,٣)$$

حيث:

P' = القدرة النوعية، واط. ث/ كجم. م

P = القدرة الكلية، واط

L = طول البريمة، م

ρ_b = الكثافة الظاهرية للمادة، كجم/ م^3.

لهذا، فالقدرة النوعية هي القدرة اللازمة لنقل وحدة من معدل تغذية وحدة الكتلة لكل وحدة طول من البريمة.

تعتبر عملية النقل بواسطة الناقل البريمي عملية معقدة. ومن الصعب تطوير نماذج تحليلية للتنبؤ بالسعة الحجمية ومتطلّبات القدرة دون فرضيات مبسطة. ومن ناحية أخرى، النماذج التجريبية البحتة ليست شائعة بشكل عام في الطبيعة ولا يمكن استخدامها للتنبؤ بأداء البريمة في مختلف التطبيقات. فقد قدم (Rehkugler and Boyd, 1962) تطبيقًا للتحليل البعدي كوسيلة لوضع نموذج شامل لتقدير أداء الناقل البريمي. ويبين الجدول رقم (١ , ١١) قائمة من المتغيرات ذات العلاقة بالمشكلة. حيث يمكن دمج هذه المتغيرات في نسب أو مجموعات عديمة الوحدات تسمى مجموعات(π) وذلك باستخدام نظرية (Buckingham's π) والمعادلة التالية تشمل المكونات عديمة الوحدات:

$$\pi_1 = f\left(\frac{d_t}{d_p}, \frac{d_{sf}}{I_p}, \frac{d_{sf}}{I_p}, \frac{I_i}{I_n}, n\sqrt{\frac{I_p}{g}}, f(\theta), \mu_1, \mu_2\right) \qquad (١١,٤)$$

حيث:

$$\pi_1 = \frac{Q_a}{\frac{\pi}{4}\left(d_{sf}^2 - d_{ss}^2\right) I_p\ n} \quad \text{or} \quad \frac{P/L}{Q_a\ \rho_b\ g} \qquad (١١,٥)$$

جدول ١١,١. قائمة بالمتغيرات المؤثرة على أداء الناقل البريمي.

الرمز	تعريف المتغير	الأبعاد	الوحدات
Q_a	السعة الحجمية	ل^{٣}/ن	(م^{٣}/ث)
p	متطلبات القدرة	ك ل^{٢} ن^{٣}	(واط)
d_i	القطر الداخلي للأنبوب	ل	(م)
d_{sf}	القطر الخارجي للبريمة	ل	(م)
d_{ss}	قطر عمود البريمة	ل	(م)
L	طول البريمة	ل	(م)
I_p	خطوة البريمة	ل	(م)
I_i	طول مدخل البريمة المكشوف	ل	(م)
n	السرعة الزاوية	١/ن	(لفة/ث)
θ	زاوية ميل الناقل	--	(درجات)
ρ_b	الكثافة الظاهرية للمادة	ك/ل^{٣}	(كجم/م^{٣})
μ_1	الاحتكاك بين المادة والمعدن	--	--
μ_2	الاحتكاك بين مادة وأخرى	--	--
g	التسارع بسبب الجاذبية	ل/ن^{٢}	(م/ث^{٢})

الجزء الأول في الطرف الأيمن للمعادلة رقم (١١,٥) هو النسبة بين معدل التغذية الحجمي الفعلي إلى الحجم النظري المنقول بواسطة الناقل البريمي في وحدة الزمن. وتعرف هذه النسبة بأنها الكفاءة الحجمية للناقل البريمي. والجزء الثاني في الطرف الأيمن للمعادلة رقم (١١,٥) هي القدرة المطلوبة لكل وحدة طول لكل

وحدة كتلة من معدل السريان للمادة المنقولة. وتعرف بأنها القدرة النوعية أو كفاءة القدرة للناقل. ولا تتأثر الكفاءة الحجمية بطول الناقل.

تستخدم الحدود عديمة الوحدات في المعادلة رقم (٤ , ١١) لوضع معادلات تقديرية باستخدام بيانات تجريبية. وقد استخدمت البيانات المنشورة على أداء النواقل البريمية لنقل القمح، و الشوفان، والذرة المفرطة لوضع معادلات الأداء. وقد تستخدم هذه المعادلات لتقدير أداء الناقل لمواد مشابهة.

$$\frac{Q}{\frac{\pi}{4}\left(d_{sf}^2 - d_{ss}^2\right) I_p\ n} = 432 * 10^{-6}\left(2\pi n\sqrt{\frac{I_p}{g}}\right)^{-0.44}\left(\frac{I_i}{I_p}\right)^{0.31}$$

$$*\left[f_1\ (\theta)\right]^{1.35}\left(\mu_1\right)^{-4.59}\left(\mu_2\right)^{-3.72} \qquad (١١ , ٦)$$

$$\frac{P/L}{Q_a\ \rho_b\ g} = 3.54\ \ 2\pi n\sqrt{\frac{I_p}{g}}\ \Bigg)^{0.14}\left(\frac{d_{sf}}{I_p}\right)^{-10.12}\ \frac{I_i}{I_p}\Bigg)^{0.11}\left[f_2\ (\theta)\right]\ \ \left(\mu_2\right)^{2.05} \qquad (١١ , ٧)$$

حيث:

$$f_1\ (\theta) = 1 + \cos^2\ \theta$$

$$f_2\ (\theta) = 6.94\ (1.3 - \cos^2\ \theta)$$

$$f_1\ (\theta) = 0.0223\ e^{0.068\,\theta}\ + 0.342 \qquad (١١ , ٨)$$

θ = زاوية الناقل كما قيست من الأفقي، درجات.

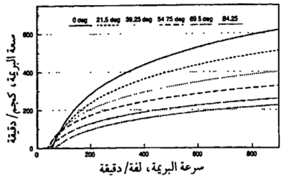
$0.414 > \mu_1 > 0.374$

$0.554 > \mu_2 > 0.466$

٣ , ١ , ١١ الأداء

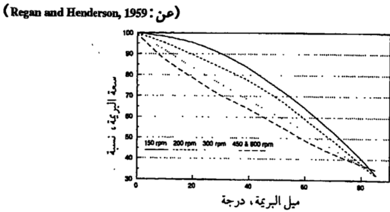
يتأثر أداء الناقل البريمي كما عرف بـ(سعته، وكفاءته الحجمية، ومتطلباته من القدرة) بشكله الهندسي وأبعاده، وخواص المادة المنقولة، وعوامل تشغيل الناقل مثل سرعة البريمة وزاوية ميلها. وسيناقش تأثير هذه العوامل فيما يلي:

السعة. ليس لطول البريمة تأثير على السعة. وتأثير السرعة والميل معطى في الشكل رقم (٢ ,١١). وكما هو مبين في الشكل فإن السعة لاتزيد بزيادة السرعة عن قيمة معينة. وفي الحقيقة قد تقل السعة بعد سرعة معينة. ويتضح أيضًا من الشكل انخفاض السعة بزيادة زاوية الميل. ولاتعتمد القيمة المحددة للسرعة على زاوية الميل. ويعتقد أن العاملين المسؤولين عن هذا السلوك هما (أ) أقصى معدل محتمل لسريان الحبوب خلال فتحة، (ب) قوة الطرد المركزية الناتجة عن دوران كتلة الحبوب. ابتدائيًا، تزداد السعة مباشرة مع السرعة حتى ٢٥٠ لفة/ دقيقة. بعد هذه النقطة، تقيد قوة الطرد المركزية سريان الحبوب عند المدخل وتؤدي إلى نقصان الميل. وإذا زادت السرعة بمقدار كاف، قد تصبح القوة الطاردة المركزية مقيدة جدًا لدرجة أنها تتسبب في انحسار السعة.



شكل ٢ ,١١. تأثير سرعة البريمة وزاوية ميل البريمة على سعة النقل.

(عن: Regan and Henderson, 1959)

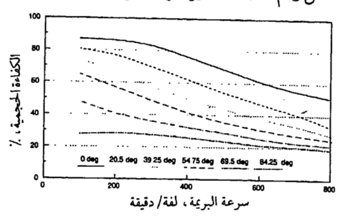


شكل ٣ ,١١. تأثير سرعة البريمة على السعة الحجمية عند زوايا ميل متغيرة.

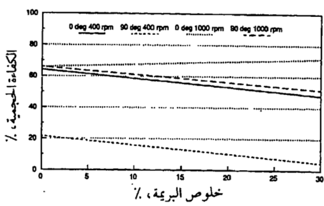
(عن: Regan and Henderson, 1959)

يبين الشكل رقم (١١,٣) تأثير زاوية ميل البريمة على السعة. حيث الخط المنقط هو دالة جيب التمام. يمكن ملاحظة أن الانخفاض في السعة يتبع دالة جيب التمام باستثنائين هما: (أ) السعة عند سرعة عالية أقل كثيراً من خط جيب التمام، و(ب) السعة عند زاوية ٩٠° تكون حوالي ٣٠٪ من السعة عندما يكون الناقل أفقيًا. وقد يرجع ذلك إلى تقييد سريان الحبوب عند مدخل الناقل عند سرعات عالية، والحقيقة أن الحبوب تتدفق من فتحة رأسية بمعدل يساوي ثلث المعدل الذي تتدفق به من فتحة أفقية مماثلة.

الكفاءة الحجمية. لايؤثر طول البريمة على السعة والكفاءة الحجمية. حيث يوضح الشكل رقم (١١,٤) تأثير سرعة البريمة وميلها على الكفاءة الحجمية.



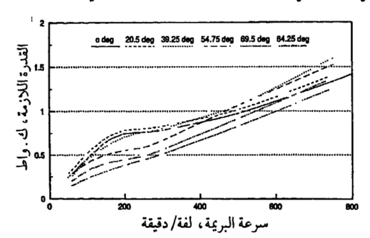
شكل ١١,٤ . تأثير سرعة البريمة على السعة الحجمية عند زوايا ميل متعددة.
(عن: Regan and Henderson, 1959)



شكل ١١,٥ . تأثير الخلوص بين ريش البريمة والقطر الداخلي للأنبوب على الكفاءة الحجمية للنقل.
(عن: Brusewitz and Persson, 1969)

عمومًا، تنخفض الكفاءة الحجمية بزيادة سرعة البريمة وزيادة زاوية الميل. وقد ذكر (Brusewitz and Persson, 1969) أن خلوص البريمة يؤثر على الكفاءة الحجمية. وكما يبين الشكل رقم (٥, ١١)، فتأثير الخلوصات الكلية من ٥ إلى ٧٪ قليل على الكفاءة الحجمية ولكن يمكن توقع انخفاض في الكفاءة بـ ٧, ٠٪ في كل زيادة للخلوص تصل ١٪. ولم يظهر بوضوح تفاعل بين ميل الناقل وخلوص البريمة.

متطلبات القدرة. كما حدد سابقًا فإن تأثير قطر البريمة على القدرة النوعية يعتمد على السرعة. فعند السرعات المنخفضة يوجد انخفاض في القدرة النوعية مع زيادة قطر البريمة. وينعكس الاتجاه مع السرعات العالية ولا يؤثر طول البريمة على القدرة النوعية. ويوجد تأثير بسيط للخطوة على القدرة النوعية. حيث تؤدي زيادة الخطوة إلى انخفاض القدرة النوعية. وتؤدي الزيادة في الخلوص إلى انخفاض ضئيل في القدرة النوعية للبريمات الأفقية. ومع هذا- للبريمات الرأسية- يؤدي هذا إلى زيادة بشكل عام في متطلبات القدرة. وتؤدي الزيادة في سرعة البريمة إلى زيادة في متطلبات القدرة كما هو موضح في الشكل رقم (٦, ١١). والتحدب في منحنى القدرة تحت ٣٠٠ لفة/ دقيقة يرجع إلى قيمة العزم العالية عند السرعات المنخفضة. وفي البداية تؤدي زيادة زاوية الميل إلى زيادة في القدرة ولكن يتبعها انخفاض في القدرة بعد زاوية معينة. ويرجع ذلك إلى انخفاض الكفاءة الحجمية. وتؤدي نسبة الرطوبة التي تشارك في زيادة الاحتكاك إلى زيادة معنوية في القدرة النوعية.



شكل ٦, ١١. متطلبات القدرة للناقل البريمي عند سرعات وزوايا ميل مختلفة للبريمة. (عن: Regan and Henderson, 1959)

في الوقت الحالي، لاتتوفر البيانات المختصرة لمشاكل التصميم الفردية. يعتمد الاختيار على البيانات المقدمة من المصنعين. وكانت معظم البيانات المقدمة منهم للبريمات الأفقية منخفضة السرعة. ومع هذا، يمكن استخدام المعادلة المعطاة سابقا لتقدير سعة ومتطلبات القدرة للبريمة لتطبيق معين.

مثال رقم (١١,١)

اوجد الكفاءة، السعة الحجمية ومتطلبات القدرة لبريمة أفقية ذات خطوة قياسية تستخدم لنقل القمح. قطر البريمة ١٥,٢٤ سم (٦بوصة) وقطر العمود ٢,٥٤ سم (١ بوصة). سرعة البريمة ٦٠٠ لفة/ دقيقة. يمكن أخذ الاحتكاك بين المعدن-الحبوب على أنه ٠,٤١٤ بينما يمكن استخدام القيمة ٠,٤٦٦ لمعامل الاحتكاك الداخلي. وطول مدخل البريمة ضعف الخطوة.

الحل. المعطيات:

d_{sf} = ٠,١٥٢٤ م (٦ بوصة)

d_{ss} = ٠,٠٢٥٤ م (١ بوصة)

I_p = ٠,١٥٢٤ م (٦ بوصة)

I_i = ٠,٣٠٤٨ م (١٢ بوصة)

ρ_b = ٧٦٩ كجم/ م^3 (جدول رقم (١١,٢))

μ_1 = ٠,٤١٤

μ_2 = ٠,٤٦٦

n = ١٠ لفة/ ث (٦٠٠ لفة/ دقيقة)

θ = صفر

استخدم المعادلة رقم (١١,٦) لإيجاد الكفاءة. تحسب المجموعات عديمة الوحدات كمايلي:

$$2\pi n \sqrt{\frac{I_p}{g}} = 2\pi\,(10)\sqrt{\frac{0.1524}{9.81}} = 7.83$$

$$\frac{d_{sf}}{I_p} = \frac{0.1524}{0.1524} = 1$$

$$f_1(\theta) = 2$$

$$\frac{I_i}{I_p} = \frac{0.3048}{0.1524} = 2$$

بالتعويض في المعادلة رقم (٦ , ١١) نحصل على:

$$\frac{Q_a}{\frac{\pi}{4}\left(d_{sf}^2 - d_{ss}^2\right) I_p\ n} = 432 * 10^{-6}\ (7.83)^{-0.44}\ (2)^{0.31}\ (2)^{1.35}$$

$$* (0.414)^{-4.59}\ (0.466)^{-3.72}$$

$$= \left(432 * 10^{-6}\right) (0.4)\ (1.24)\ (2.55)\ (57.3)\ (17.12) = 0.53$$

$$\eta_v = 0.53 \quad \text{or} \quad 53\%$$

يمكن إيجاد السعة الحجمية كالتالي:

$$Q_a = 0.53 * \frac{\pi}{4} * \left[(0.1524)^2 - (0.0254)^2\right] * 0.1524 * 10 = 0.014\ m^3/s\ (40.5\ t/h)$$

تستخدم المعادلة رقم (٧ , ١١) لإيجاد متطلبات القدرة.

$$\frac{P/L}{Q_a\ \rho_b\ g} = 3.54\ (7.83)^{0.14}\ (1)^{-10.12}\ (2)^{0.11}\ (3.23)^{1.0}\ (0.466)^{2.05}$$

$$= 3.54 * 1.334 * 1 * 1.079 * 3.23 * 0.209 = 3.345$$

$$P/L = 3.345 * 0.014 * 769 * 9.81 = 368.4\ \text{Watt / m}$$

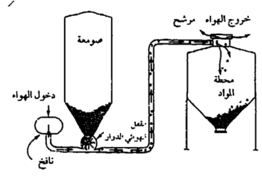
٢، ١١ نواقل تعمل بضغط الهواء

النواقل التي تعمل بضغط الهواء تحرك الحبوب بواسطة نقل الطاقة الحركية من
هواء المتحرك إلى الحبوب في مجاري هوائية. ونواقل ضغط الهواء مرنة في ذلك،
لذلك تستخدم في نقل المواد إلى أماكن يصعب الوصول إليها باستخدام نواقل آلية
خرى. ومع هذا، تحتاج النواقل التي تعمل بضغط الهواء إلى قدرة نوعية أعلى نسبيًا
مقارنة بالنواقل البريمية.

,٢، ١١ الطرق والمعدات

يمكن تقسيم منظومات النقل التي تعمل بضغط الهواء إلى ثلاثة أنواع. وتلك
الأنواع هي منظومات الضغط السالب، والضغط الموجب، ودمج الضغط السالب
والموجب معًا. ومع هذا، فإن استخدام منظومة الضغط السالب غير شائعة في
تطبيقات الزراعية.

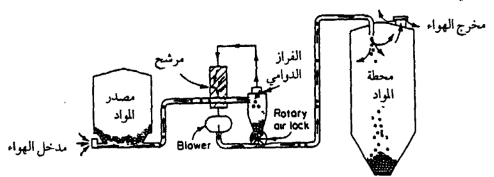
منظومات الضغط الموجب. تدخل المواد إلى الهواء المتدفق ذي الضغط
العالي عبر وسائل من المحابس الهوائية كما هو موضح في الشكل رقم (٧، ١١)
يمكن نقل المواد من نقطة واحدة إلى العديد من النقاط المراد التوصيل إليها.
لا توجد حاجة لفراز دوامي ومجمع للغبار. ويمكن الحصول على سعات عالية من
وحدات أصغر نسبيًا بسبب ضغوط التشغيل العالية. وتقيد المنظومة بضغط قياسي
١ رطل/ بوصة[٢].



شكل ٧، ١١. منظومة النقل تعمل بالهواء المضغوط موجبة الضغط.

(عن: Chemical Engineers' Handbook by permission of McGraw-Hill Book Co.)

منظومات دمج الضغط السالب والموجب معًا. تستخدم بعض المنظومات اتحاد كل من التفريغ والضغط الموجب. حيث يستخدم التفريغ لسحب المواد إلى المنظومة ومن ثم يستخدم الضغط الموجب لنقل المواد إلى أماكن وصولها. ومحرك الهواء في هذه المنظومة أكبر من المنظومتين السابقتين. وتعرض المنظومة الموحدة في الشكل رقم (١١,٨). ويتراوح المدى الكلي للضغط في المنظومة الموحدة من ٣٣ سم (١٣ بوصة) زئبق إلى ٦٨,٩ ك. بسكال (١٠ رطل/ بوصة[٢]) قياسي.



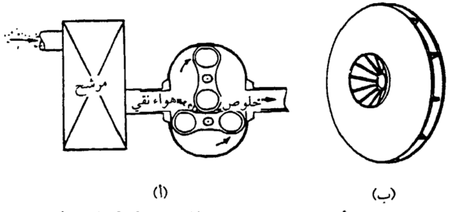
شكل ١١,٨. منظومة نقل تعمل بالهواء المضغوط ذات الضغط السالب والموجب معًا.

(عن: Chemical Engineers' Handbook by permission of McGraw-Hill Book Co.)

يمكن تقسيم المكونات الضرورية المستخدمة لإتمام منظومة النقل بالهواء المضغوط إلى: منظومة تحريك الهواء، ومنظومة التغذية، ومنظومة الطرد، وشبكة الأنابيب، وقطع تركيب الأنابيب.

منظومة تحريك الهواء. يعتمد اختيار محرك الهواء على متطلبات المنظومة من الضغط وتدفق الهواء. و يمكن تقسيم محركات الهواء إلى منظومات صغيرة الحجم عالية الضغط أو كبيرة الحجم منخفضة الضغط. يوضح الشكل رقم (١١,٩) نافخًا دورانيًا موجب الإزاحة ونافخ طرد مركزي. وكما هو مبين في الشكل، بدوران زوج من الأطراف داخل الغلاف تنشأ حركة الضخ الموجبة. هذه النوافخ مناسبة للضغوط حتى ٦٨,٩ ك. بسكال (١٠ رطل/ بوصة[٢] قياسي). ومن الضروري وجود صمام تنفيس ضغط ومرشح هواء للمروحة موجبة الإزاحة. ويمكن أن تنتج مروحة الطرد المركزي حجم ضخم من الهواء ولكن عند ضغوط

منخفضة نسبيًا - عادة أقل من٥ , ٣٤ ك. بسكال (٥ رطل/ بوصة[٢] قياسي). ومع ذلك، يمكن توصيل النوافخ على التوالي لإنتاج ضغوط أعلى. ومراوح الطرد المركزي أكثر مقدرة على تحمل الأتربة وهو الذي يميزها عند استخدامها في منظومات الضغط السالبة.

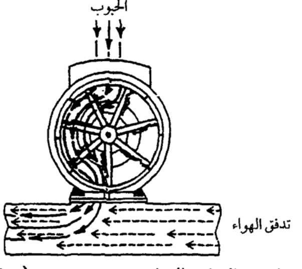


شكل ٩ , ١١. (أ) نافخ دوار موجب الإزاحة، (ب) نافخ طرد مركزي.
(عن: .Hellevang, 1985)

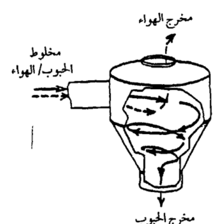
منظومة التغذية. يعتمد تصميم منظومة التغذية على نوعية منظومة النقل المستخدم. في حالة الأنابيب التي تحت التفريغ، يمكن قياس معدل مرور المواد عبر محبس هوائي دوار، قادوس تغذية متحكم به أو صمام التقاط ذاتي الضبط. وفي حالة الأنابيب التي تحت الضغط الموجب، يجب قياس معدل مرور المواد عبر محبس هوائي دوار للحفاظ على الضغط المرتد عند أقل قيمة. ويزود خزان التغذية بفتحة لتنفيس الضغط المرتد. ويمكن من الشكل رقم (١٠ , ١١) ملاحظة مغذي ذي محبس هوائي دوار. ويتم التحكم في سرعة الدوران لتنظيم معدل سريان المواد.

منظومة الطرد. يجب فصل المواد المنقولة عن الهواء الناقل في أنابيب الشفط. يستخدم جهاز الفرز الدوامي لإبطاء حركة الحبوب من أجل سقوطها في القاع وفصلها من الهواء. ويحتاج إلى مصفاة أو مرشح لإزالة الأتربة من الهواء قبل دخولها النافخ. في خطوط الأنابيب تحت الضغط، يمكن أن تخرج المواد مباشرة إلى الصناديق أو المخازن. ويكون التصرف مماسيًا لكي يخلق تأثيرًا دواميًا. ويستخدم في الغالب الفراز الدوامي لخفض سرعة المواد وذلك لتقليل الإصابة في الحبوب في

المنظومات عـالية السرعة ذات الضغط الموجب المنخفض. ويعـرض الفراز الدوامي في الشكل رقم (١١ , ١١).



شكل ١٠ , ١١. المحبس الهوائي الدوار. (عن: .Hellevang, 1985)



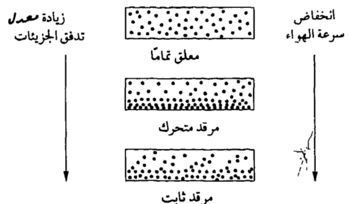
شكل ١١ , ١١. الفراز الدوامي. (عن: .Hellevang, 1985)

خطوط الأنابيب والتوصيلات. عند اختيـار الأنابيب يجب مـراعـاة قطرها، وسمك الجدار، ومادة الأنبـوب. ويجب أن تكون مـادة الأنبـوب مـقـاومـة للتآكل. معظم شبكة الأنابيب لها فتحات وتوصيلات ناعمة مما يجعل الأنابيب تقلل من تلف الحبـوب. تفـضل الانحناءات الطويلة المصنعـة آليًـا لتـقـليل تلف الحبـوب

تآكل الأنبوب. وينصح بأن يتراوح نصف قطر الانحناء من ٦ إلى ٨ أضعاف قطر الأنبوب لانحناء ذي ٤٥° أو أكثر.

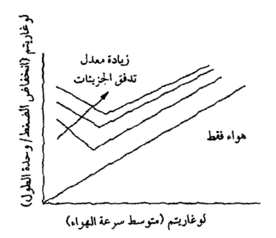
١١,٢,٠ نظرية

عندما تدفع الحبيبات الصلبة إلى تيار متدفق من الهواء في أنابيب الهواء فإنها تكون معرضة للسحب بالديناميكا الهوائية. فإذا كانت سرعة الهواء عالية بصورة كافية، فسوف تتسارع الحبيبات وينخفض السحب بسبب انخفاض السرعة النسبية بين الحبيبات والهواء. وعندما تنقل الحبيبات، فإن قوة السحب تكون أعلى من مجموع قوى الجاذبية؛ احتكاك الحبيبات مع بعضها، واحتكاك الحبيبة مع جدار الأنبوب. وتزداد مقاومة دفع الهواء مع زيادة عدد الحبيبات في تيار الهواء كنتيجة لمعدل نقل أعلى. وإذا استمر معدل نقل الحبيبات الصلبة في الزيادة، فسوف يحدث عند نقطة معينة ألاتسلك الحبيبات سلوك الحبيبات التي سبق فصلها. ويمكن أن تشكل الحبيبات عناقيد تؤدي إلى غلق الأنبوب إذا استمر معدل تدفق الحبيبات الصلبة في الزيادة. ويقال للمرحلة التي تكون عندها الحبيبات في انفصال منتظم "مرحلة التخفيف". وتحدث "مرحلة التكثيف" عندما تبدأ الحبيبات بتشكيل عناقيد. ويتم نقل المواد الزراعية في مرحلة التخفيف والتي تسمى أيضًا مرحلة الضمور. يبين الشكل رقم (١٢ , ١١) توزيع الحبيبات مع ازدياد معدل اندفاع الحبيبات الصلبة.



شكل ١١,١٢. المراحل المختلفة لتدفق الجزيئات في النقل بالهواء المضغوط.

يبين الشكل رقم (١٣ , ١١) رسمًا لانخفاض الضغط لكل وحدة طول مقابل سرعة تدفق الهواء السطحي عند معدلات تدفق لمواد مختلفة . يهبط الضغط مع زيادة السرعة في الجزء الأول من المنحنى . ومن ثم بعد سرعة معينة ، يزداد هبوط الضغط . وتفصل نقطة التحول في المنحنى بوضوح مرحلة التكثيف من مرحلة التخفيف . وتعتمد النقطة التي تفصل نظامي الدفع على معدل اندفاع كتلة الحبيبات الصلبة بالنسبة إلى معدل اندفاع الهواء . وبشكل عام ، تؤدي نسبة التدفق الكتلي للحبيبات الصلبة إلى الهواء ، والتي أقل من ١٥ إلى مرحلة التخفيف . وأقل نقطة في المنحنى تمثل أقل سرعة لازمة لإنتاج مرحلة التخفيف لهذا المعدل التدفقي الكتلي .



شكل ١٣ , ١١ . مخطط الاستقرار للناقل بالهواء المضغوط .

أثناء النقل ، تكون الحبيبات الصلبة في حالة معلقة ويمكن معاملتها كمجموع من الحبيبات الصلبة مع الفراغ الشاغر وتحدد نسبة الفراغ (e) بالمعادلة التالية :

$$e = \frac{V - V_s}{V} = 1 - \frac{V_s}{V} \quad (11,9)$$

حيث :

V_s = الحجم المشغول بواسطة الحبيبات الصلبة ، م٣

V = الحجم الكلي ، م٣ .

والحجم الكلي المشغول بواسطة الحبيبات الصلبة هو مجموع حجم كل حبيبة صلب ويمكن تمثيله بمايلي:

$$V_s = n\ V_p = \frac{\dot{m}}{\rho_p\ c}\ dL \qquad (10.11)$$

(١١,١٠)

حيث:

n = عدد الحبيبات الصلبة في منطقة التحكم

V_p = حجم كل حبيبة صلب، م٣

$\dot{m}$ = معدل التدفق الكتلي للحبيبات الصلبة، كجم/ ث

ρ_p = كثافة الحبيبات الصلبة، كجم/ م٣

c = سرعة الحبيبات الصلبة، م/ ث

dL = الطول الابتدائي لأنبوب النقل، م.

جدول ١١,٢ . خصائص الحبوب المتعلقة بالنقل بالهواء المضغوط.

المادة	الكثافة الظاهرية (كجم/ م٣)	الوزن النوعي للجزيء	القطر المكافيء للجزيء (م)
القمح	٧٦٩	١٣٠٠	٤,٠٨
الشوفان	٤١٠	١٠٥٠	٤,١٩
الشعير	٦١٥	١٣٣٠	٤,٠٥
فول الصويا	٧٦٩	١١٨٠	٦,٧٤
الذرة	٧١٨	١٣٩٠	٧,٢٦

(عن: ASAE Data D241.2.)

ويمكن إيجاد كثافة الحبيبات الصلبة من البيانات المعروضة في الجدول رقم (٢ , ١١) وبالتعويض من المعادلة رقم (١٠ , ١١) في المعادلة رقم (٩ , ١١) نحصل على:

$$e = 1 - \frac{\rho^*}{\rho_p} \qquad (١١,١١)$$

حيث :

ρ^* = الكثافة الظاهرية المحتملة للحبيبات الصلبة خلال النقل، كجم/ م٣

$= \phi_m \, v \, \rho / c$

v = سرعة الهواء، م/ ث

ρ = كثافة الهواء، كجم/ م٣

ϕ_m = نسبة التدفق الكتلي = $(\dot{M} / (\rho Q))$

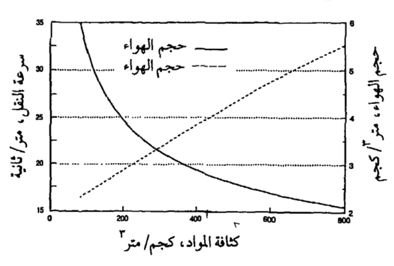
$\dot{M}$ = معدل التدفق الكتلي للحبيبات، كجم/ ث

Q = معدل التدفق الحجمي للهواء، م٣/ ث

وقد ذكر (Marcus et al.1990) المعادلة التالية لتقدير سرعة الحبيبات الصلبة (c) :

$$\frac{c}{v} = 1 - 0.68\, d^{0.92}\, \rho_p^{0.5}\, \rho^{-0.2}\, D^{0.54} \qquad (١١,١٢)$$

حيث (d) تمثل متوسط قطر الحبيبة.



شكل ١١,١٤. متوسط السرعات وحجم الهواء الناقل للمواد ذو الضغط المنخفض. (عن : ASAE Data D273.)

يتضمن تصميم منظومة النقل بالهواء المضغوط تحديد سرعة الهواء الناقل، وحجمه، وهبوط الضغط الكلي، والقدرة اللازمة للنافخ. وتعتمد سرعة الهواء على حجم، و شكل، وكثافة الحبيبات المراد نقلها. ويعتمد حجم الهواء على معدل الاندفاع الكتلي المرغوب به. ويبين الشكل رقم (١١,١٤) سرعة الهواء ومعدل التدفق الحجمي المرغوبين اللذين ينتجان ظروف نقل مرحلة التخفيف. وهبوط الضغط في منظومة النقل هو نتيجة العديد من العوامل كما هو معطى في المعادلة التالية:

$$\Delta p = \Delta p_L + \Delta p_a + \Delta p_s + \Delta p_g + \Delta p_b + \Delta p_c \quad (١١,١٣)$$

حيث:

ΔP = الهبوط الكلي للضغط في المنظومة، بسكال

ΔP_L = فقد الضغط في خط النقل بسبب الهواء فقط، بسكال

ΔP_a = فقد الضغط بسبب تسارع الحبيبات، بسكال

ΔP_s = فقد الضغط بسبب احتكاك الحبيبات الصلبة، بسكال

ΔP_g = فقد الضغط بسبب الرفع الرأسي، بسكال

ΔP_b = فقد الضغط في الانحناءات، بسكال

ΔP_c = فقد الضغط في التوصيلات، بسكال.

الفقد في ضغط الخط. يحدد الفقد في ضغط الخط بأنه الضغط المفقود بسبب اندفاع الهواء فقط خلال مجرى النقل. ويمكن تقديره من المعادلة التالية:

$$\Delta p_L = \lambda_L \frac{\rho}{2} v^2 \frac{L}{D} \quad (١١,١٤)$$

حيث:

λ_L = معامل مقاومة الهواء

L = طول مجرى النقل، م.

يمكن استخدام المعادلة التالية المعطاة بواسطة (Koo) والمشار إليها من قبل في (Marcus et al., 1990) لإيجاد معامل فقد الاحتكاك في الخط :

$$\frac{\lambda_L}{4} = 0.0014 + 0.125\, R_e^{-0.32} \qquad (11,15)$$

حيث (R_e) رقم رينولد، ويحسب من العلاقة: ($R_e = \rho\, v\, D/\mu$)، حيث (μ) هي لزوجة الهواء.

هبوط الضغط التسارعي. عندما تدخل الحبيبات الصلبة إلى تيار الهواء، تتسارع الحبيبات إلى أن تصل إلى سرعة الحبيبات الصلبة (c). ويحتاج ذلك إلى هبوط إضافي في الضغط. ويمكن تقدير هذا الهبوط في الضغط من المعادلة التالية المعطاة بواسطة (Marcus et al., 1990) :

$$\Delta p_a = \phi_m\, v\, \rho\, c \qquad (11,16)$$

هبوط الضغط بسبب الحبيبات الصلبة. يرجع هذا الهبوط في الضغط إلى تداخل الحبيبات الصلبة والاحتكاك مع الجدار. ويمكن استخدام المعادلة التالية لتقدير هذه القيمة لهبوط الضغط :

$$\Delta p_s = \phi_m\, \lambda_s\, \frac{\rho}{2}\, v^2\, \frac{L}{D} \qquad (11,17)$$

ولقد أعطى كل من (Saito) و(Konno) ((Marcus et al., 1990)) المعادلة التالية لإيجاد معامل احتكاك الحبيبات الصلبة اللازم في المعادلة السابقة :

$$\lambda_s = \frac{0.0285\,\sqrt{g\,D}}{c} \qquad (11,18)$$

حيث (g) = تسارع الجاذبية (٩,٨١ م/ث^2).

هبوط الضغط بسبب ارتفاع الرفع. يمثل هذا الفقد في الضغط التغير في طاقة الوضع الكامنة في عملية رفع الحبيبات إلى الارتفاع المناسب. وتستخدم المعادلة التالية لتقدير هذا الفقد في الضغط:

$$\Delta p_g = \rho^* \, g \, \Delta z \qquad (١١,١٩)$$

حيث (Δz) = ارتفاع الرفع، م.

فقد الضغط بسبب الانحناءات. يحدث مرور مخلوط الهواء والحبيبات حول الانحناء، في فقد بعض الطاقة بسبب احتكاك الهواء والحبيبات الصلبة مع الجدار. حيث تنخفض سرعة الحبيبات الصلبة مع مرورها حول الانحناء ويحتاج إلى ضغط إضافي لتسريعهم إلى سرعة النقل. ويحسب هبوط الضغط في الانحناء للهواء والحبيبات الصلبة كل على حدة. ويحسب هبوط الضغط بسبب الهواء فقط من خلال إيجاد الطول المكافيء للانحناء. والطول المكافيء هو الطول الذي يؤدي إلى هبوط الضغط في الأنبوب المستقيم بقدر مساو لما هو في الانحناء. وتستخدم المعادلة التالية لحساب الطول المعادل:

$$L_{eq} = \frac{K\,D}{\lambda_L} \qquad (١١,٢٠)$$

حيث (K) = معامل الفقد في الوصلات.

يمكن اختيار معامل الفقد في الوصلات (K) من الجدول رقم (١١,٣) (ASHRAE, 1972). ويجب أن يحسب الطول المكافيء لكل انحناء ويجمع لتحديد فقد الضغط الكلي بسبب الانحناءات. ويمكن حساب فقد الضغط بسبب الحبيبات الصلبة بواسطة المعادلة التالية:

$$\frac{\Delta p_{b,\ solids}}{\rho\, v^2} = 0.245 \left(\frac{\dot{m}}{\rho\, v\, D^2}\right)^{1.267} \left(\frac{R}{D}\right)^{-0.260} \qquad (١١,٢١)$$

حيث :

$(P_{b,solids})$ = فقد الضغط بسبب الحبيبات الصلبة في الانحناءات ، بسكال .

R/D = نسبة نصف قطر الانحناء إلى قطر الأنبوب .

جدول ١١,٣ . بعض معاملات فقد الوصلات للسريان الإضطرابي .

الوصلة	الشكل	K
المدخل	حاد	٠,٥٠
	تام الاستدارة	٠,٠٥
وصلة تقليص	حاد $(D_2/D_1 = 0.5)$	٠,٣٨
كوع ٩٠°	مشطوف زاوية ٤٥°	١,٣٠
	نصف قطر قصير	٠,٩٠
	نصف قطر طويل	٠,٦٠

(عن : .ASHRAE, 1972)

هبوط الضغط في الوصلات . يعتمد هبوط الضغط في الوصلات على تصميماتها . ولاتتوفر معادلات بسيطة لتقدير هذا الهبوط في الضغط . وتتوفر أشكال بيانية في المراجع والتي يمكن استخدامها لإيجاد (Δp_c) للوصلات المختلفة . ويوفر المصنعون في العادة بيانات هبوط الضغط والتي يجب مراجعتها . ويعطي الجدول رقم (٤ , ١١) بيانات فقد الضغط للوصلات الشائعة .

متطلبات القدرة . تعتمد متطلبات قدرة النافخ على معدل التدفق الحجمي للهواء المنقول والهبوط الكلي للضغط في النظام . ويمكن حساب متطلبات القدرة من المعادلة التالية للهواء القياسي . ويجب عمل التصحيح للارتفاع عن سطح البحر ، ودرجة الحرارة ، ونسبة الرطوبة :

$$P = \frac{\Delta p Q}{\eta_b} \quad (١١,٢٢)$$

حيث :

P = قدرة النافخ، واط

Δp = الفقد الكلي للضغط في المنظومة، بسكال

Q = معدل التدفق الحجمي للهواء، م^٣/ث

η_b = كفاءة النافخ، من ٠,٥ إلى ٠,٧ .

جدول ١١,٤ . بيانات فقد الضغط لبعض الوصلات الشائعة المستخدمة في النقل بالهواء المضغوط . (عن : Noyes and Pfieffer, 1985.)

الوصلة	هبوط الضغط (ك. بسكال)
سحب النافخ	٠,٧
مرشح المدخل	٠,٧
مرشح المدخل و خافت الصوت	١,٤
خافت الصوت ولوحة الضبط	١,٤
فراز دوامي	٠,٧
ثقب الصندوق	١,٤
مرشح داخل الخط	١,٤

ويمكن حساب القدرة النوعية أو القدرة لكل وحدة من معدل تدفق المواد من :

$$P' = \frac{P}{\dot{m}} \quad (١١,٢٣)$$

حيث (P') القدرة النوعية ، واط . ث/ كجم .

مثال رقم (٢, ١١)

يراد نقل قمح عبر مسافة ٣٠ م أفقيًا و١٠ م رأسيًا بمعدل ٣٠٠٠٠ كجم/ س. يحتوي خط النقل على أربعة انحناءات ذات ٩٠ ° وقطره ١٢,٧ سم. بفرض خواص الهواء القياسية، اوجد فقد الضغط الكلي في المنظومة ومتطلبات القدرة للنافخ.

الحل. من الجدول رقم (٢, ١١) كثافة القمح (ρ) تساوي ٧٦٩ كجم/ م٣. وبناء على هذه القيمة، يوصى بأن تكون سرعة النقل ٣٥ م/ ث، الشكل رقم (١٤, ١١).

معدل التدفق الحجمي للهواء:

$$Q = \frac{\pi}{4} (0.127)^2 * 35 = 0.443 \text{ m}^3 \text{ /s}$$

معدل التدفق الكتلي للهواء:

$$\rho Q = 1.2 (0.443) = 0.532 \text{ kg/s}$$

نسبة التدفق الكتلي:

$$\phi_m = \frac{8.33}{0.532} = 15.66$$

هذه النسبة أعلى من النسبة المطلوبة (١٥) للنقل في مرحلة التكثيف. لذا يجب أن تزداد سرعة الهواء.

معدل تدفق كتلة الهواء اللازمة: $8.55 / 15 = 0.57$ kg/s

سرعة الهواء اللازمة:

$$v = \frac{0.56}{1.2 \frac{\pi}{4} (0.127)^2} = 36.53 \text{ m/s}$$

رقم رينولد المناظر :

$$R_e = \frac{\rho\, v\, D}{\mu} = \frac{1.2\,(36.53)\,(0.127)}{10^{-5}} = 5.57 * 10^5$$

(أ) فقد الضغط في الخط :

$$\Delta\, p_L = \lambda_L\, \frac{\rho}{2}\, v^2\, \frac{L}{D}$$

$$\frac{\lambda_L}{4} = 0.0014 + 0.125\,\left(5.57 * 10^5\right)^{-0.32}$$

$$\lambda_L = 0.013$$

$$\Delta\, p_L = 0.013\, \frac{1.2}{2}\, (36.53)^2\, \frac{(30 + 10)}{0,127} = 3.24 \text{ kPa}$$

(ب) فقد الضغط التسارعي (استخدم الجدول رقم (٦ , ١) لقيمة (d_p) :

$$\Delta\, p_a = \phi_m\, v\, \rho_c$$

$$\frac{c}{v} = 1 - 0.68\, d_p^{0.92}\;\; \rho_b^{0.5}\, \rho^{-0.2}\, D^{0.54}$$

$$= 1 - 0.68\,(4.08 * 10^{-3})^{0.92} * 1300^{0.5} * 1.2^{-0.2} * 0.127^{0.54} = 0.951$$

أو :

$$c = 0.951\,(36.53) = 34.74 \text{ m/s}$$

$$\Delta\, p_a = 15\,(36.53)\,(1.2)\,(34.74) = 22.84 \text{ kPa}$$

(جـ) فقد الضغط بسبب ارتفاع الرفع :

$$\Delta p_g = \rho^* g \Delta z$$

$$\rho^* = \frac{\phi_m \, v \, \rho}{c} = \frac{15\,(36.53)\,(1.2)}{34.74} = 18.91 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta p_g = 18.91\,(9.81)\,(10) = 1.86 \text{ kPa}$$

(د) فقد الضغط في الحبيبات الصلبة :

$$\Delta p_s = \phi_m \lambda_s \frac{\rho}{2} v^2 \frac{L}{D}$$

$$\lambda_s = \frac{0.0285 \sqrt{g D}}{c}$$

$$= \frac{0.0285 \sqrt{9.81\,(0.127)}}{34.74} = 0.92 * 10^{-3}$$

$$\Delta p_s = 15\,(0.92 * 10^{-3})\,\frac{(1.2)}{2}\,(36.53)^2\,\frac{40}{0.127} = 3.46 \text{ kPa}$$

(هـ) فقد ضغط في الانحناءات :

$$L_{eq} = \frac{K D}{\lambda_L}$$

بفرض (k) = ٩, ٠ من الجدول رقم (٣, ١١)

$$L_{eq} = \frac{0.9\,(0.127)}{0.013} = 8.79 \text{ m}$$

الطول الكلي المكافيء لأربعة انحناءات

$$L_{eq} = 4 * 8.79 = 35.2 \text{ m}$$

- فقد الضغط

$$\Delta p_{b,\,air} = \frac{3.24}{40} * 35.2 = 2.85 \text{ kPa}$$

فقد الضغط بسبب الحبيبات الصلبة بفرض أن (R/D = 0)

$$\frac{\Delta p_{b,\,solids}}{\rho v^2} = 0.245 \left(\frac{\dot{m}}{\rho v D^2}\right)\left(\frac{R}{D}\right)^{-0.260}$$

$$= 0.245 \left(\frac{8.33}{1.2\,(36.53)\,(0.127)^2}\right)(5)^{-0.260} = 1.9 \text{ kPa}$$

أو :

$$\Delta p_b = 1.90\,(1.2)\,(36.53)^2 = 3.04 \text{ kPa}$$

لذلك، يكون الهبوط الكلي في الضغط :

$$\Delta p = 3.24 + 22.84 + 1.86 + 3.46 + 2.85 + 3.04 = 37.3 \text{ kPa}$$

لاحظ أن هبوط الضغط لايشمل هبوط الضغط بسبب الوصلات، مثل الفرازات الدوامية، . . . إلخ.

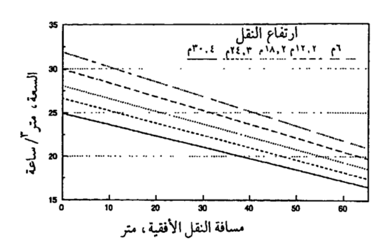
متطلبات القدرة

$$P = \frac{\Delta p\, Q}{\eta_b} = \frac{37.3 \frac{\pi}{4} (0.127)^2 * 36.53}{0.6} = 28.76 \text{ kW}$$

٣,٢,١١ الأداء

يعتمد أداء منظومة النقل بالهواء المضغوط على عوامل مرتبطة بالأجهزة، والمواد المنقولة، وظروف التشغيل. والتصميم المناسب مهم للتشغيل المثالي. وقد

يعتمد اختيار منظومة النقل على القيود المعطاة على مواد التغذية والتفريغ . وقد يحدد خواص المادة ومعدل التغذية المرغوب معدل اندفاع الهواء ومتطلبات القدرة . ويوضح الشكل رقم (١٥ , ١١) بيانات الأداء لمنظومة الضغط الموجب ذي القدرة ١٢ , ١١ك . واط (١٥ حصانًا) عند نقل الذرة . حيث يعرض الشكل تأثير الرفع الرأسي ومسافة النقل الأفقية على معدل النقل الحجمي . ويعطي الجدول رقم (٥ , ١١) مقارنة في الأداء بين وحدة الهواء المضغوط الموجب والسالب ذي قدرة ٦٠ ك . واط (٨٠ حصانًا) و ٢ , ١٥سم (٦ بوصات) ناقل بريمي (PAMI, 1979) . ومن الواضح أن الناقل البريمي يعتبر أكثر كفاءة من وحدة النقل بالهواء المضغوط .



شكل ١٥ , ١١ . سعة الناقل بالهواء المضغوط وتأثرها بالرفع الرأسي ومسافة النقل . **(عن : Hellevang, 1985.)**

يمثل عطب الحبوب عامل أداء مهمًا . بناء على تقرير اختبار (PAMI, 1977) يحدث ٢٥ , ٠٪ من عطب الحبوب في كل نقلة خلال وحدة الهواء المضغوط . وقد ذكر أيضًا أن العطب قورن بتلك التي تحدث عند استخدام بريمة الحبوب . ويزداد عطب الحبوب مع سرعة النقل . يعرض الجدول رقم (٦ , ١١) تأثير سرعة النقل على العطب في الفاصوليا البيضاء . وعطب الحبوب الحادث بواسطة المحبس الهوائي موضح في الجدول رقم (٧ , ١١) لمرحلتي النقل (Hellevang, 1985) .

جدول ١١,٥. مقارنة بين وحدة نقل حبوب تعمل بالهواء المضغوط ذات قدرة ٦٠ ك.واط وضغط موجب وسالب ٢٠,٣٢ سم (٨ بوصة) إلى بريمة حبوب قطرها ١٥,٢٤ سم (٦ بوصة).

	أقصى معدلات نقل				السعات النوعية	
	وحدة هواء مضغوط		بريمة		وحدة هواء مضغوط	بريمة
نوع الحبوب	(طن/س)	(م³/س)	(طن/س)	(م³/س)	(م³/ك.واط.س)	(م³/ك.واط.س)
القمح	٢٥,١	٢٨,٥	٣٧,٦	٤٢,٧	٠,٨٧	١٠,٦٠
الشعير	٢٤,٢	٣٤,٤	٢٧,٩	٣٩,٧	١,٠٤	١١,٧٧
الشوفان	٣٣,٥	٦٧,١	٢١,٨	٤٣,٨	١,٧٩	١٦,٠٠

جدول ١١,٦. عطب فول الصويا عند نقله باستخدام ناقل يعمل بالهواء المضغوط. (عن: Hellevang, 1985.)

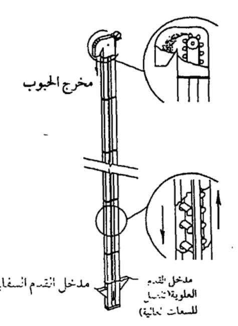
سرعة الحبوب(م/دقيقة)	نسبة الإنبات (٪)	التلف المرئي (٪)
صفر (للمقارنة)	٩٣,٥	٠,٠٠
١٩٨	٩١,٠	٠,٤٠
٢٩٢	٨٩,٧	٠,٤٩
٤٤٠	٨٣,٥	٠,٥٩
٥٠٥	٨٢,٧	٠,٧٠
٦٨٩	٧٣,٥	١,٦٢

جدول ٧,١١. عطب الفاصوليا البيضاء البحرية عند نقلها باستخدام وحدة نقل تعمل بالهواء المضغوط. (عن: Hellevang, 1985.)

سبب العطب	مرحلة النقل	
	مرحلة التكثيف (٪)	مرحلة التخفيف (٪)
المحبس الهوائي	١,٠٣	٠,٢٧
النقل	٠,٥٢	١,٣٥
الكلي	١,٥٥	١,٦٢

٣,١١ الروافع ذات القواديس

يعمل الرافع ذو القادوس بشكل شائع جداً للنقل الرأسي للمواد حرة السريان مثل الحبوب الصغيرة ومكعبات الأعلاف. يتكون الرافع ذو القادوس من قواديس مركبة على سير بمسافات متساوية. ويدور السير على بكرتين تقعان في قمة وقاع المجسم ذي الشكل المستطيل كما هو موضح في الشكل رقم (١٦,١١). ومع دوران السير، تغرف القواديس بعض الحبوب من القاع وترفعه إلى أعلى. وعند القمة، تفرغ المواد من القواديس مع مرورها حول العجلة العليا والمصممة لتنقلب إلى أسفل. ويتغير حجم القادوس من ١٦,١٠سم × ٦٢,٧سم (٤ بوصة × ٣ بوصة) إلى حوالي ٥٦,٣٥سم × ٣٢,٢٠ سم (١٤ بوصة × ٨ بوصة). وتتراوح المسافات بين القواديس من ٤٣,١١ سم (٥,٤ بوصة) إلى ٤٩,٣٠ سم (١٢ بوصة). ويمكن أن تتغير سرعة السير من ٢,١ م/ث إلى ٣,٣ م/ث. وتعتمد سعة الرافع ذي القواديس على حجم القادوس، والمسافة بين القواديس، وسرعة السير. بصفة عامة، تكون سعة الروافع المستخدمة في التطبيقات الزراعية في المدى من ٧ إلى ٣٥٠ م^3/س.



شكل١٦,١١. رسم تخطيطي للرافع ذي القواديس.

(عن: Grain Drying, Handling and Storage Handbook, 2nd Ed., 1987 © Midwest Plan Services.)

إن العلاقة بين سرعة العجلة العليا والقطر مهمة جداً للتشغيل المرضي لهذا النوع من الروافع. فعندما تتحرك كتلة الحبوب في الوعاء حول عجلة الرأس، فأنها تكون معرضة لقوة الجاذبية مؤثرة رأسيًا إلى أسفل ولقوة الطرد المركزي مؤثرة قطريًا من مركز عجلة الرأس. تسبب محصلة هاتين القوتين تفريغ المواد من القادوس إلى مجرى التفريغ. ومن أجل التفريغ الكامل للقواديس، يجب أن يؤخر بداية التدفق من القادوس إلى مابعد مروره من أعلى وضع في عجلة الرأس. وسوف يحدث هذا الوضع عندما تتساوى قوتا الجاذبية والطرد المركزي. وعندما يصل القادوس إلى قمة وضعه في عجلة الرأس فإن محصلة القوتين سوف تكون صفراً، ولن توجد قوة تفريغ على المواد. ولن ترمى رأسيًا من القادوس ولاتسقط منه.

بمساواة وزن هذه الحبوب مع قوة الطرد المركزي المؤثرة عليها، نحصل على:

$$W = \frac{W}{g}\,\frac{v^2}{R}$$

أو

$$v^2 = gR$$

أو

$$v = \sqrt{gR}$$

باستخدام ($v = 2\pi R n = \sqrt{g R}$)، يمكن حساب السرعة اللازمة للعجلة كالتالي:

$$n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{R}} \qquad (١١,٢٤)$$

حيث:

W = وزن المادة، نيوتن

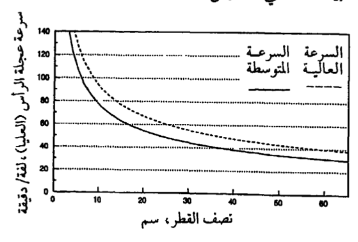
v = سرعة المادة، م/ث

g = تسارع الجاذبية، م^٢/ث

R = نصف قطر مركز الجاذبية للمادة في القادوس، م

n = سرعة عجلة الرأس، لفة/ث.

يبين الشكل رقم (١١,١٧) الرسم البياني للعلاقة بين سرعة عجلة الرأس ونصف قطر مسار مركز الجاذبية للمادة في القادوس حول مركز عجلة الرأس. ولإيجاد قطر عجلة الرأس، يقتطع من نصف القطر سماكة السير والمسافة من السير إلى مركز الجاذبية للمادة في القادوس.



شكل ١١,١٧. الناقل ذو القواديس مقابل نصف قطر مسار مركز جاذبية المادة في القادوس. (عن: Millier, 1958.)

يمثل الشكل المساري للمواد من القواديس قطعًا مكافئًا ويمكن إيجاده من معادلة الحركة. ولقد وجد أنه للنواقل عالية السرعة واللاتي نوجد أقطار عجلة الرأس وسرعاتها من منحنى السرعة العالية في الشكل رقم (١٧ , ١١)، إن الشفة الداخلية لقناة التصريف يجب أن تقع بأقرب مكان انحدار القادوس قدر الإمكان وعند زاوية ١٥° إلى ٢٠° تحت مركز عجلة الرأس.

سعة الرافع الرأسي

تعتمد سعة الروافع ذات القواديس على السعة الذاتية للقادوس، والمسافات بينها، وسرعة السير أو الجنزير الحامل للقواديس. ويتم التحكم في مسافة القادوس بواسطة شكل القادوس ومواصفات التفريغ الناتجة.

تعتبر سعة القادوس من ٨٥ إلى ٩٠٪ من حجم التحميل في بداية المشوار للنواقل عالية السرعة، إذا نظمت التغذية لتسمح بالتحميل عند أو أعلى من مركز عمود القاعدة. و إذا كان التحميل تحت هذه النقطة، فيمكن أن تنخفض السعة إلى ٨٠٪ من حجم التحميل. و في الروافع محدودة السرعة، يمكن توقع ملء القادوس بـ ٩٠٪ من حجمه في بداية مشواره.

نستخدم المعادلة التالية لإيجاد سعة الرافع:

$$\dot{Q}_m = \frac{V\,v}{s} \qquad (١١ , ٢٥)$$

حيث:

Q_m = سعة الرافع، م³/ ث

V = حجم القادوس، م³

v = سرعة السير، م/ ث

s = المسافة بين القواديس ،م.

قدرة الرافع الرأسي

القدرة اللازمة لتشغيل الرافع ذي القواديس هي القدرة اللازمة لغرف المواد بالقادوس ثم رفعها وتفريغها بالإضافة إلى تحريك كمية صغيرة من الهواء، وللتغلب على الاحتكاك في المحامل والمكونات المتحركة الأخرى. عمومًا، فإن الرافع ذا القواديس له كفاءة رفع عالية. وقد وجد بالتجربة أننا بحاجة إلى زيادة القدرة النظرية اللازمة لرفع المواد بمقدار يتراوح من ١٠ إلى ١٥٪ فقط للحصول على القدرة الحقيقية اللازمة. تستخدم المعادلة التالية للحصول على القدرة النظرية اللازمة:

$$P = \rho_b \, g \, Q \, h \qquad (11,26)$$

حيث:

P = القدرة النظرية، واط.

ρ_b = الكثافة الظاهرية للمواد، كجم/ م^3

h = ارتفاع رفع المواد، م.

إنه من المفضل استخدام حجم التحميل عند بداية المشوار لكل قادوس لتحديد سعة الرافع. وهذا سوف يزيل إخفاقات القدرة في اللحظات التي يكون فيها معدل التغذية عاليًا حيث تملأ القواديس بصورة جيدة فوق مركز عجلة القاعدة.

مثال رقم (١١,٣)

اوجد سرعة المواد المنقولة إذا كان نصف القطر لمركز الجاذبية للمادة في القادوس ٤٨ , ٣٠ سم (١٢ بوصة) وبعد ذلك اوجد سرعة عجلة الرأس باللفة/ دقيقة. اوجد متطلبات القدرة لهذا الرافع ذي القواديس.

المعطيات:

سعة القادوس = ٢٥ , ٠ كجم

سرعة السير = ٢٥ , ١ سم/ ث

المسافة بين القواديس = ٢٠ سم
الارتفاع = ١٥ سم

$$V = \sqrt{gR} = \sqrt{9.81 * 0.3048} = 1.729 \text{ m/s}$$

$$n = \frac{60}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{R}} = \frac{60}{2\pi}\sqrt{\frac{9.81}{0.3048}} = 54.17 \text{ r p m}$$

يمكن إيجاد سعة الرافع بـ:

السعة = (سعة القادوس × سرعة السير) / المسافة بين القواديس

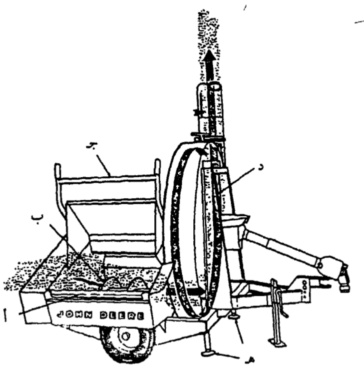
= (١,٢٥ × ٠,٢٥) / ٠,٢ = ١,٥٦٢٥ كجم/ث

القدرة = السعة × الارتفاع × الجاذبية
= ١.٥٦٢٥ × ١,٥ × ٩,٨١ = ٢٢,٨٤٥ واط

٤ , ١١ نافخات العلف

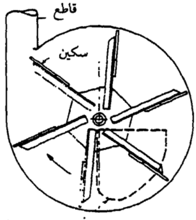
يكثر استخدام نافخات العلف في نقل العلف المقطع عبر توجيه طاقة حركية كافية إلى المواد لحملها من خلال أنابيب النقل. تتركب نافخات العلف من: خزان التغذية، والمجاديف القطرية للنافخ، وأنبوب النقل. وتسمى نافخات العلف أحيانًا بقاذفات العلف بسبب عملية القذف الناتجة عن مجاديف النافخ. يوضح الشكل رقم (١٨ , ١١) رسمًا تخطيطيًا لنافخة علف. تدخل المواد جسم النافخ عبر فتحة في الجانب. ومباشرة، تتسارع المواد بواسطة الريش الدوارة كما هو موضح في الشكل رقم (١٩ , ١١). وتدفع إلى أعلى الأنبوب الذي يكون مماسًا كما هو موضح في الرسم التخطيطي. وعندما تغادر المواد الريش، تكون سرعتها أعلى من سرعة سريان

الهواء. وبالتالي، يوفر الهواء المقاومة اللازمة ولحركته إلى أعلى ويستمر اندفاع المواد في الانخفاض بسبب تأثير سحب الهواء، والجاذبية، واحتكاكها بجدران الأنبوب. بعد فترة زمنية، ينخفض اندفاع المواد بالقدر الكافي وبالتالي تكون سرعتها أقل من سرعة الهواء وبذلك يتم النقل في صورة مشابهة كما هو في النقل بالهواء المضغوط. لذلك، يجب أن يوفر النافخ طاقة حركية كافية للمواد وبالتالي سوف تنقل إلى الارتفاع المرغوب في أنبوب النقل.



شكل ١٨ ,١١. رسم تخطيطي لنافخ العلف. (أ) ذراع الهزاز، (ب) بريمة النقل، (جـ) ذراع القابض، (د) مروحة النافخ، (هـ) مثبتات. (عن: **Prairie Agricultural Machinery Institute, Canada.**)

تدار نافخات العلف عمومًا بواسطة عمود مأخذ القدرة من الجرار. وبشكل عام يكون قطر مروحة النافخ من ٢ ,١ إلى ٤ ,١ م والسرعة المحيطية حوالي ٣٥ م/ث. ومعظم أنابيب التفريغ لها قطر ٩ ,٢٢ سم (٩ بوصة). ويحتمل وصول السعة إلى ١٠٠ طن/س من علف الذرة.



شكل ١١,١٩. رسم تخطيطي للنافخ الدوار (المروحي).

(عن: Principles of Farm Machinery, Kepner et al., 1978.)

١١,٤,١ نظرية

قام (Chancellor, 1960) بتحليل حركة حبيبات صلبة إلى أعلى في أنبوب رأسي في تيار هوائي. وبناء على التحليل والتجارب، استخلص أنه في حالة النافخ، تمد الحبيبات التيار الهوائي بالطاقة بدلاً من العكس. وتكون نتيجة حركة الهواء في الأنبوب خفض تأثير مقاومة الهواء. وقد قام بتحليل ثلاث حالات محتملة كما سيناقش فيما بعد:

الحالة ١ . تتحرك الحبيبة أسرع من سرعة التدفق الهوائي. والقوى التي تؤثر على الحبيبة هي قوة القصور الذاتي، وهي مؤثرة إلى أعلى، وسحب الهواء مؤثر إلى أسفل، والجاذبية مؤثرة أيضًا إلى أسفل. ولقد تم حساب الارتفاع الكلي الذي سوف ترفع المواد إليه بحيث تصبح سرعة الحبيبة مساوية لسرعة تيارالهواء بجمع هذه القوى وحل المعادلة التفاضلية الناتجة:

$$H_1 = t_1\ (v_a) - \left[\frac{v_s^2}{2\,g}\ \ln\left(\frac{v_s^2 + v_r^2}{v_a^2 + v_{ro}^2} \right) \right] \qquad (١١,٢٧)$$

حيث:

$$t_1 = \frac{v_s}{g}\left(\tan^{-1}\frac{v_{ro}^2}{v_s} - \tan^{-1}\frac{v_r}{v_s}\right)$$

v_r = السرعة النسبية للحبيبة في التيار الهوائي، م/ث

v_{ro} = السرعة النسبية الابتدائية، م/ث

v_s = السرعة الحدية للحبيبة، م/ث

v_a = سرعة تدفق الهواء، م/ث.

حالة ٢. سوف تستمر الحبيبة في الانخفاض حتى ($v_r = v_s$). وارتفاع النقل في الحالة الثانية يعطى بـ:

$$H_2 = v_a\, t_2 + \frac{v_s}{2g}\ln\left(\frac{v_s^2 - v_r^2}{v_s^2 - v_{ro}^2}\right) \qquad (١١,٢٨)$$

حيث:

$$t_2 = \frac{v_s}{g}\left[\tan^{-1}\left(\frac{v_r}{v_s}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{v_r}{v_s}\right)\right]$$

و (v_r) سالبة.

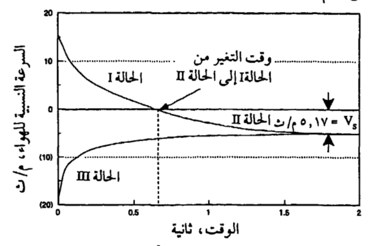
حالة ٣. وتحدث الحالة الأخيرة عندما تكون السرعة النسبية (v_r) أقل من السرعة الحدية (v_s) ويسير الهواء أسرع من الحبيبة. في هذه الحالة يكون ارتفاع النقل بواسطة الجزيء (H_3).

$$H_3 = v_a\, t_3 - \frac{v_s}{2g}\ln\left(\frac{v_{ro}^2 - v_s^2}{v_r - v_s}\right)$$

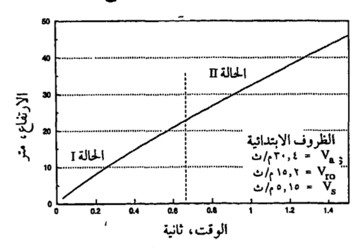
حيث:

$$t_3 = \frac{v_s}{g}\left[\coth^{-1}\left(\frac{v_{ro}}{v_s}\right) - \coth^{-1}\left(\frac{v_r}{v_s}\right)\right]$$

هذه الحالة شبيهة لحالة النقل بالهواء المضغوط للمواد الصلبة . إذا علمت أو فرضت سرعة الهواء (v_a)، وسرعة الخروج (v_t) والسرعة النسبية الابتدائية (v_{ro})، فيمكن اختيار قيم مختلفة لـ (t) ويمكن حساب قيم (v_r) ورسمها، الشكل رقم (٢٠ , ١١). ومن ثم يستخدم هذا المنحنى لتكوين منحنى للارتفاع الكلي (H_t) مقابل الزمن، الشكل رقم (٢١ , ١١).



شكل ٢٠ , ١١. أمثلة على تغيرات سرعة الحُبيبة مع الزمن (عن: .Chancellor, 1960)



شكل ٢١ , ١١. أمثلة على زيادة ارتفاع الحُبيبة مع الزمن (عن: .Chancellor, 1960)

ينشأ التغير في سرعة الحبيبات من الجاذبية وتداخل الهواء مع الحبيبة وذلك أثناء انتقال الحبيبات رأسيًا في الأنبوب . و يكون التغير في السرعة بسبب الجاذبية

$(\Delta\ v_g = g\ (\Delta\ t))$. حيث $(\Delta\ t)$ هو الزمن الذي تستغرقه الحبيبة للتنقل بين الموقعين ١ و ٢ . ويتم إيجاد التغير في السرعة بسبب تداخل الهواء $(\Delta\ v_f)$ من خلال مساواة معدل التغير في مقدار كمية الحركة بالنسبة للعزم إلى قوة الهواء في الأنبوب كما يلي :

$$F = \frac{dm}{dt} (\Delta\ v_f)$$

أو

$$\Delta P = \frac{1}{A} \frac{dm}{dt} (\Delta\ v_f) \qquad (١١ , ٢٩)$$

حيث :

F = $(\Delta\ P)\ A$

ΔP = هبوط الضغط في الأنبوب ، بسكال

dm / dt = معدل تدفق الكتلة ، كجم/ ث

Δv_f = تغيير السرعة الكلي مطروحًا منه(Δvg) ، م/ ث .

مثال رقم (٤ , ١١)

إذا كان (v_a) = ٣٠ , ٤ م/ ث ، (v_{ro}) = ١٥ , ٢ م/ ث ، (v_s) = ١٧ , ٥ م/ ث ، (dm / dt) = ٥٤ , ٤ كجم/ ث ، قطر الأنبوب = ٢٢٨ , ٠ م ، ارتفاع الأنبوب = ١٢ , ٤٦ م ، اوجد هبوط الضغط الكلي في أنبوب نافخ العلف .

الحل . من المعادلة رقم (٢٧ , ١١) [حالة ١ كما هو مرسوم في الشكلين رقمي(٢٠ , ١١) و (٢١ , ١١)] :

t = ٣٣ , ٠ ثانية (من ٠ إلى ١٢ , ٤٦ م)

v_r = ٢ , ٨ م/ ث (عند المخرج)

سرعة الحبيبة = ٣٠ , ٤ + ٢ , ٨ = ٣٣ , ٢ م/ ث

التغير الكلي في السرعة = ٤٥ , ٦ - ٣٣ , ٢ = ١٢ , ٤ م/ ث

Δv_g = ٩,٨١ × ٠,٣٣ = ٣,٢٤ م/ث

Δv_f = ١٢,٤ - ٣,٢٤ = ٩,١٦ م/ث

F =(٤,٥٤) × ٩,١٦ = ٤١,٦ نيوتن

ΔP = ٤١,٦/ ط (٠,١١٤)^٢ = ١٠١٨,٦ بسكال

يمكن حساب فقد الضغط بسبب احتكاك الأنبوب من المعادلة رقم (١١,١٤). ورقم رينولد للأنبوب = ٨,٣ × ١٠^٥ . باستخدام المعادلة رقم (١١,١٥)، تم حساب معامل الاحتكاك ليكون ٠,٠١٢ . هذه القيم أنتجت (ΔpL) = ٣٦٤ بسكال لـ (v_a) = ٣٠,٤ م/ث. وفرق الضغط الكلي بين نهايتي الأنبوب سوف تكون ١٠١٨,٦ - ٣٦٤ = ٦٥٤,٦ بسكال. وبما أن الفتحة العلوية للأنبوب معرضة للضغط الجوي، فإن الضغط عند قاع الأنبوب سوف يكون ٦٥٤,٦ تحت الضغط الجوي.

١١,٤,٢ متطلبات القدرة

اقترح (Totten and Millier, 1966) أن متطلبات القدرة الكلية لنافخ العلف يمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$P = \frac{1}{2\eta} \dot{m} \, r_f^2 \, \omega^2 \qquad (١١,٣٠)$$

حيث:

P = متطلَّبات القدرة، واط

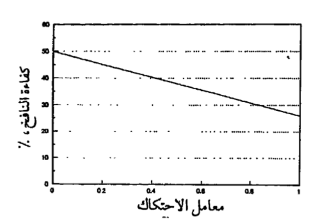
$\dot{m}$ = معدل الحصاد الكتلي، كجم/ث

η_b = كفاءة القدرة لنافخ العلف

r_f = نصف قطر طرف البدال، م

ω = السرعة الزاوية، ز/ث.

يوضح الشكل رقم (٢٢, ١١) كفاءة الرسم النظرية عند تأثرها بالاحتكاك. وفقًا لهذا الشكل، تزداد الكفاءة مع انخفاض الاحتكاك.



شكل ٢٢, ١١. تأثير الاحتكاك على كفاءة النافخ. (عن: Chancellor, 1960.)

مثال رقم (٥, ١١)

معدل تدفق المواد لنافخ العلف ٥٠٠ كجم/ دقيقة عند سرعة المروحة ٦٠٠ لفة/ دقيقة. اوجد متطلبات القدرة إذا كانت الكفاءة ٣٥٪.

الحل.

$$\dot{m} = \frac{500\ (\text{kg/min})}{60\ (\text{s/min})} = 8.34\ \text{kg/s}$$

$$\omega = \frac{600\ (\text{rpm})\ 2\pi\ (\text{rad/rev})}{60\ (\text{s/min})} = 62.8\ \text{rad/s}$$

$$r_f = 0.6\ \text{m}$$

$$\text{Power} = \frac{1}{2\,(0.35)}\ (8.34)\ (0.6)^2\ (62.832) = 1.7\ \text{kW}$$

٣ , ٤ , ١١ الأداء

تتأثر كفاءة النافخ بعوامل ذات علاقة بتصميم النافخ، وظروف التشغيل، وطبيعة المواد. تشمل عوامل تصميم النافخ: حجم النافخ، وعدد الريش، وزاوية ميل المجداف، والخلوص بين طرف المجداف والمغلف الحلزوني، وموقع وحجم فتحة مدخل المواد، وحجم أنبوب النقل. وتشمل ثوابت التشغيل: ارتفاع النقل، وسرعة النافخ، ومعدل تدفق المواد. وتشمل ثوابت المواد الكثافة الظاهرية ومعامل الاحتكاك.

ولقد قام (Pettingill and Miller, 1968) بدراسات على كفاءة النافخ والتي اختصرت في الجدول رقم (٨ , ١١). من البيانات المعروضة في الجدول رقم (٨ , ١١)، واستخلصا إلى أنه يمكن الحصول على كفاءات أعلى في كل حالة إذا كان باب الهواء مغلقًا. وبزيادة سرعة المجداف تزداد الكفاءة لمعدل تدفق ثابت للمواد. وتزداد الكفاءة ببطء مع الزيادة في تحميل المجداف. يوضح الجدول رقم (٩ , ١١) أن تغيرات التصميم ذات تأثير منخفض على كفاءة النافخ. ويؤدي انخفاض الاحتكاك إلى زيادة الكفاءة.

جدول ٨ , ١١. كفاءة النافخ عند سرعات، ومعدلات تغذية، وظروف مختلفة لمدخل الهواء. (عن: .Pettengill and Millier, 1968)

معدل التغذية (كجم/د)	سرعة النافخ (لفة/د)	حالات باب الهواء	
		مفتوح	مغلق
٤٠٨	٦٠٠	٢٤,٥	٢٥,٧
٥٤٤	٨٠٠	٢٨,٤	٣٠,٧
٦٨٠	٦٠٠	٢٤,٦	٢٥,٩
٩٠٧	٦٠٠	٢٥,٥	٢٦,٩

جدول ٩ , ١١ . كفاءة النافخ عند تغييرات تصميمية مختلفة.

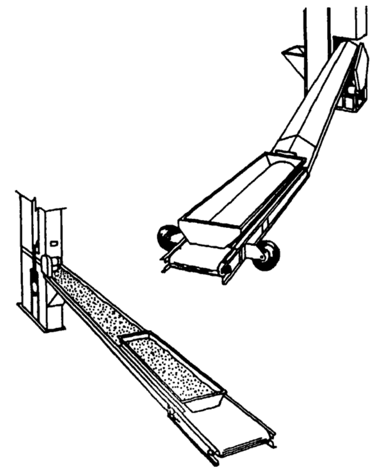
ظروف التصميم	كفاءة النافخ (٪) حالات باب الهواء	
	مفتوح	مغلق
منظومة عادي	٢٤,٦٠	٢٥,٩
قاطع عند المدخل	٢٤,٦٣	٢٥,٢٢
مجاديف من التفلون	٢٤,٠٨	٢٤,١٧
مجاديف من التفلون مع مغلف	٢٤,٧٠	٢٦,٠١

ملاحظة : أجريت جميع الاختبارات عند سرعة ٦٠٠ لفة/ دقيقة ، و معدل تغذية ٦٨٠ كجم/ دقيقة . (عن : Pettengill and Millier, 1968)

٥ , ١١ نواقل مختلفة

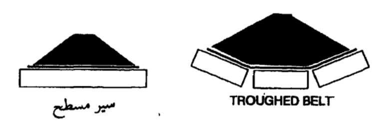
١ , ٥ , ١١ السيور الناقلة

يمكن للسيور الناقلة حمل أنواع مختلفة من مواد تتفاوت في تدفقها من سهل إلى صعب ، والمواد اللزجة . حيث تنقل بلطف مع تلف بسيط . تتغير سرعات السير من منخفضة جداً إلى عالية بحوالي ٣٠٠ م/ دقيقة . يمكن أن تكون سعة السير عدة أطنان لكل ساعة . وتتوفر السيور بعروض مختلفة . عمومًا ، لاتستخدم السيور الناقلة عند زاوية ميل أعلى من ٣٠° مع أن الميل في معظم الحالات حوالي ٢٠° . يوضح الشكل رقم (٢٣ , ١١) الأشكال النمطية للسيور . حيث يمكن أن تكون السيور منبسطة أو مقعرة . يوضح الشكل رقم (٢٤ , ١١) ترتيبات مختلفة لكل من السيور الناقلة . كما يوضح الجدول رقم (١٠ , ١١) قيمًا نمطية لسعة النواقل الأفقية . تتأثر السعة بسرعة السير ، وعرضه ، وانتظام التحميل .



شكل ١١,٢٣ . سيور نقل زراعية نموذجية.

(عن : Grain drying, Hanhling and Storage Handbook, 2nd Ed., 1987 © Midwest Plan Service.)



شكل ١١,٢٤ . نوعان من سيور النقل.

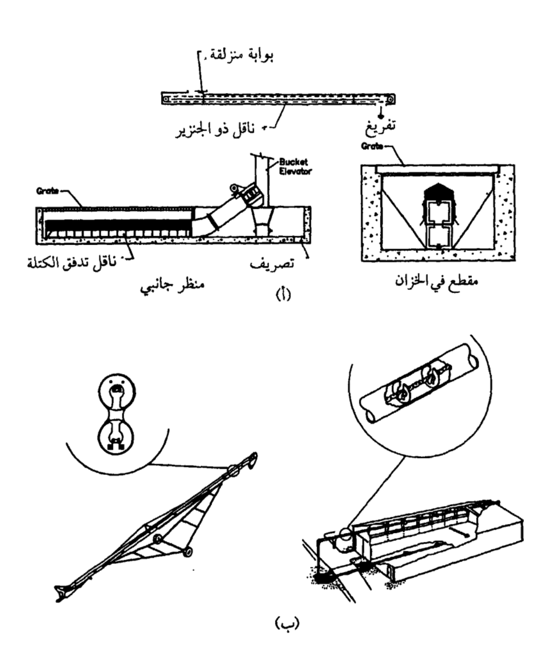
جدول ١٠,١١. السعات النموذجية لنواقل السيور الأفقية.

عرض السير (م) (بوصة)	السرعة القصوى (م/ دقيقة)	سعة السير عند سرعة السير ٣٠,٤ م/ دقيقة (١٠٠ قدم/ دقيقة) للسير سير ذو مجرى (م^3/ دقيقة)	سير مسطح (م^3/ دقيقة)
٠,٣٠٤ (١٢)	١٠٦	١٢,٥	٦,٢
٠,٣٥٦ (١٦)	١٣٧	٢٢,٧	١٠,٣
٠,٤٥٧ (١٨)	١٣٧	٢٨,١	١٢,٦
٠,٥٠٨ (٢٠)	١٣٧	٣٦,٢	١٦,٢
٠,٦١٠ (٢٤)	١٨٢	٥٣,١	٢٣,٨

ملاحظة: لحساب سعة السير عند أي سرعة، تقسم القيمة بالجدول على ٣٠,٤ ثم يضرب الناتج في سرعة السير بوحدات م/ دقيقة. (عن: .Midwest Plan Service)

٢,٥,١١ نواقل الكتلة

نواقل التدفق الكتلي هي مجاديف بأشكال مختلفة متصلة عند مسافات متساوية ومغطاة بغطاء مستطيل أو دوراني. ومع حركة الجنزير، تسحب هذه البدالات المواد من قاع المغلف وهذه النواقل شائعة في الروافع التجارية. يعرض الشكل رقم (٢٥,١١) نواقل كتلة مستطيلة أو مستديرة. ويمكن تقدير السعة لهذه النواقل من البيانات المعطاة في الجدول رقم (١١,١١).



شكل ١١,٢٥ . نواقل تدفق كتلي (أ) نواقل أفقية، (ب) نواقل مائلة ورأسية .

(عن: Grain drying, Hanhling and Storage Handbook, 2nd Ed., 1987 © Midwest Plan Service.)

جدول ١١,١١. القيم النموذجية لكل من السعة الظاهرية للسريان والقدرة.

عرض وعمق الناقل (م)	(بوصة)	السعة (م^٣/ س)	القدرة (ك. واط/ م)
٠,٢٠٣	(٨)	١٣٠	٠,٢٤٥
٠,٢٢٨	(٩)	١٦٤	٠,٢٩٤
٠,٢٥٤	(١٠)	٢٠٢	٠,٣٤٣
٠,٢٧٩	(١١)	٢٤٥	٠,٣٩٢
٠,٣٠٤	(١٢)	٢٩١	٠,٤٤١
٠,٣٣٠	(١٣)	٣٤٢	٠,٥١٥

(عن : Midwest Plan Service.)

تمارين على الفصل الحادي عشر

١ , ١١ يراد استخدام بريمة نقل كما في المثال رقم (١ , ١١) عند زاوية ميل ٤٥° من الأفقي. إذا كان من المرغوب أن تبقى السعة المطلوبة ثابتة، ماهي التغيرات التي سوف تجريها للحصول على هذا؟ وماهي القدرة المطلوبة؟

٢ , ١١ للناقل في التمرين رقم (١ , ١١)، ارسم السعة الحجمية مقابل زاوية الميل من ٠ إلى ٩٠° . ارسم أيضا متطلبات القدرة.

٣ , ١١ إذا كانت المواد في التمرين رقم (١ , ١١) ذرة مفرطة، اوجد السعة الحجمية ومتطلبات القدرة لزاوية صفر و٤٥°.

٤ , ١١ إذا استخدمت بريمة بنصف خطوة في التمرين رقم (١ , ١١). اوجد سعة الناقل. هل انخفضت السعة؟ إذا كان الجواب بنعم، ماالذي سوف تجريه للحصول على نفس السعة؟ هل تغيرت القدرة النوعية؟ اشرح النتائج.

٥ , ١١ يراد نقل فول الصويا بالهواء المضغوط في أنبوب قطره ١٥ سم عند معدل ١٠٠ كجم/ س. اوجد أقل سرعة هواء لازمة لإنتاج حالة التكشيف في ظروف النقل. اوجد الكثافة الظاهرية المناسبة ونسبة الفراغ خلال النقل.

١١,٦ نفس المثال رقم (١١,٢) ماعدا استخدام بيانات الذرة المفرطة واوجد الهبوط الكلي في الضغط في المنظومة باستثناء الوصلات.

١١,٧ نفس التمرين السابق ماعدا، احسب الهبوط في الضغط للأقطار ١٠، ١٢,٥ ، ١٥، ١٧,٥ ، و٢٠ سم. ارسم الهبوط في الضغط ومتطلّبات القدرة مقابل قطر الأنبوب. ماهو قطر الأنبوب الذي يوصى به ولماذا؟

الفصل الثاني عشر

إدارة الآلات
Machinery Management

● السعة والكفاءة الحقلية ● تكاليف الآلة ● اختيار وتغيير الآلة ● تمارين على الفصل الثاني عشر

مقدمة

تستخدم الآلات الزراعية خلال فترات قصيرة نسبيًا من السنة بسبب الطبيعة الموسمية للعمل المزرعي. وبزيادة متوسط حجم المزرعة، تكون هناك حاجة إلى آليات ذات سعات عالية لإتمام عملياتها خلال هذه الفترات القصيرة. وبعكس آليات المصانع التي يمكن توزيع استهلاك قيمتها عادةً على استخدامها لآلاف الساعات سنويًا، بينما يوزع استهلاك الآليات الحقلية عادة على استخدامها لمئات من الساعات سنويًا. والحاجة إلى توزيع تكاليف الآلة على عدد ساعات منخفض من الاستخدام السنوي يضع محددات صعبة على تكاليف تصنيع الآليات الزراعية. وفي نفس الوقت، وبسبب أن الوقت المفقود خلال الفترات المحددة من الاستخدام السنوي يكون عاليًا جداً، فيجب تصميم الآليات الزراعية لتكون ذات اعتمادية وكفاءة حقلية عاليتين. ومنذ عام ١٩٢٤م، ذكر أن "الوقت جوهر الزراعة" ولهذا فإن كل مايساعد على اختصار الوقت اللازم للبذر والحصاد سوف يساعد أيضًا على تخطي مؤثرات الطقس السيء (Mount, 1924). لذلك، يكون اختيار الآليات وأساليب الإدارة ذات أهمية عالية لكل من مصمم ومستخدم الآلة الزراعية. وترعى الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين (ASAE) البحث في اختيار وإدارة الآلات للعديد من السنوات ولها حاليًا ثلاث مواصفات في كتابها للمواصفات القياسية ذات علاقة باختيار وإدارة الآلات. وهي المواصفة القياسية رقم (S495) في المصطلحات العلمية الموحدة، والتطبيق

الهندسي رقم (EP496) في إدارة الآلات، ورقم (D497) في بيانات إدارة الآلات.

١٢,١ السعة والكفاءة الحقلية

١٢,١,١ السعة الحقلية (الانتاجية)

تشير السعة الحقلية إلى الكمية المعالجة التي يمكن للآلة إنجازها خلال ساعة من الزمن. و حسبت لأول مرة بواسطة (McKibben, 1930)، ويمكن أن يعبر عن السعة الحقلية على أساس المادة أو المساحة. وتكون السعة الحقلية بناء على المساحة:

$$C_a = \frac{v\, w\, \eta_f}{10} \qquad (١٢,١)$$

وتكون السعة الحقلية بناء على المادة:

$$C_m = \frac{v\, w\, Y\, \eta_f}{10} \qquad (١٢,٢)$$

حيث:

C_a = السعة الحقلية على أساس المساحة، هـ/ س (وتكون مساوية لـ(C_{at}) عندما تكون ($\eta_f = 1.0$)).

C_m = السعة الحقلية على أساس المادة، ميجاجم/ س (وتكون مساوية لـ(C_{mt}) عندما تكون ($\eta_f = 1.0$)).

v = السرعة الأمامية، كم/ س

w = عرض تشغيل الآلة، م

Y = إنتاجية المحصول، ميجاجم/ هـ

η_f = الكفاءة الحقلية، كسر عشري.

يستخدم مصطلح "السعة الحقلية النظرية" لوصف السعة الحقلية عندما تكون الكفاءة الحقلية مساوية للواحد، أي، يتم الحصول على السعة الحقلية النظرية عندما

تستخدم الآلة ١٠٠٪ من عرضها بدون إعاقات في الدوران أو أعطال أخرى. ويكون عرض عمل الآلة للعزاقات والآليات الأخرى التي تعمل في صفوف مساويًا للمسافة بين الصفوف مضروبًا في عدد الصفوف المعالجة لكل مشوار. وقد تكون هناك حاجة لعامل له مهارة في القيادة المثالية لاستخدام العرض الكامل للمحشات والآليات الأخرى التي لاتعمل في صفوف. وبما أن العمال غير مثاليين، فيتم استخدام عرض أقل من العرض الكامل لضمان التغطية الكاملة لمساحة الأرض، أي، يوجد تداخل في التغطية.

يمكن أن تحدد السرعة الأمامية لآلة عمل البالات، وآلات تقطيع العلف وآلات أخرى على أن يكون معالجة المنتج محددة بـ (C_m)، أي، بواسطة السعة الحقلية النظرية للآلة على أساس تداول المواد. ويمكن استخدام المعادلة رقم (٢, ١٢) مع ($\eta_f = 1.0$) لإيجاد السرعة الأمامية المسموح بها عند قيمة معينة للسعة الحقلية الفعلية على أساس المادة وعرض تشغيل الآلة وكثافة المحصول. والمعادلة رقم (٢, ١٢) ليس لها علاقة بالآلات التي لاتعالج المنتج، مثل: آلات الحراثة، فسرعة مثل هذه الآلات محددة بواسطة محدد واحد أو أكثر، شاملاً القدرة المتوفرة، ونوعية العمل المتحصل عليه، السلامة، ... إلخ. وسرعات التشغيل المثالية للآليات المختلفة مدرجة في الجدول رقم (١, ١٢).

٢, ١, ١٢ الكفاءة الحقلية

يتغير الوقت النظري (T_t) اللازم لإنجاز عملية حقلية معينة عكسيًا مع السعة الحقلية النظرية، ويمكن حسابه باستخدام المعادلة التالية:

$$\tau_t = \frac{A}{C_{at}} \qquad (١٢,٣)$$

حيث:

τ_t = الوقت النظري اللازم لإنجاز عملية، س

C_{at} = السعة الحقلية النظرية، هـ/ س

A = المساحة المراد معالجتها، هـ.

جدول ١,١٢. الكفاءة الحقلية، السرعة الحقلية وعوامل تكاليف الإصلاح والصيانة.

الآلة	الكفاءة الحقلية		السرعة الحقلية				العمر المقدر	الإصلاحات خلال العمر	معاملات الإصلاح	
	المدى (٪)	النمطية (٪)	المدى (ميل/س)	النمطية (ميل/س)	المدى (كم/س)	النمطية (كم/س)	(س)	نسبة من سعر الشراء	RF1	RF2
الجرارات										
ثنائية الدفع، بعجلات							١٠٠٠٠	١٠٠	٠,٠١	٢,٠
رباعية الدفع، بجنزير							١٠٠٠٠	١٠٠	٠,٠١	٢,٠
الحراثة										
محراث قلاب مطرحي	٧٠-٩٠	٨٠	٣,٠-٦,٠	٤,٥	٥,٠-١٠,٠	٧,٠	٢٠٠٠	١٥٠	٠,٤٣	١,٨
محراث قرصي خلمة شاقة	٧٠-٩٠	٨٥	٣,٥-٦,٠	٤,٥	٥,٥-١٠,٠	٧,٠	٢٠٠٠	٦٠	٠,١٨	١,٧
مشط قرصي مزدوج	٧٠-٩٠	٨٠	٣,٠-٦,٠	٤,٠	٥,٠-١٠,٠	٦,٥	٢٠٠٠	٦٠	٠,١٨	١,٧
محراث حفار	٧٠-٩٠	٨٥	٤,٠-٦,٥	٤,٥	٦,٥-١٠,٥	٧,٠	٢٠٠٠	٨٠	٠,٣٠	١,٤
عزاقة حقلية	٧٠-٩٠	٨٥	٣,٠-٨,٠	٥,٥	٥,٠-١٣,٠	٩,٠	٢٠٠٠	٨٠	٠,٣٠	١,٤
مشط ذو أسنان زنبركية	٧٠-٩٠	٨٥	٣,٠-٦,٠	٥,٠	٥,٠-١٠,٠	٩,٠	٢٠٠٠	٨٠	٠,٣٠	١,٤
مهرسة أسطوانية	٧٠-٩٠	٨٥	٤,٥-٧,٥	٦,٠	٧,٠-١٢,٠	١٠,٠	٢٠٠٠	٤٠	٠,١٦	١,٣
مهرسة تفتيت وتنعيم	٧٠-٩٠	٨٠	٤,٠-٦,٠	٥,٠	٦,٥-١٠,٠	٨,٠	٢٠٠٠	٤٠	٠,١٦	١,٣
عزاقة دورانية	٧٠-٨٥	٨٠	٥,٠-١٠,٠	٧,٠	٨,٠-١٦,٠	١١,٠	٢٠٠٠	٦٠	٠,٢٣	١,٤
عزاقة بين الصفوف	٧٠-٩٠	٨٠	٢,٥-٥,٠	٣,٥	٤,٠-٨,٠	٥,٥	٢٠٠٠	١٠٠	٠,٢٢	٢,٢
محراث دوراني	٧٠-٩٠	٨٥	١,٠-٤,٥	٣,٠	٢,٠-٧,٠	٥,٠	١٥٠٠	٨٠	٠,٣٦	٢,٠
الزراعة										
آلات زراعة في صفوف:										
في أرض غير محروثة	٥٠-٧٥	٦٥	٢,٠-٤,٠	٣,٠	٣,٢-٦,٤	٤,٨	١٢٠٠	٨٠	٠,٥٤	٢,١
في أرض محروثة تقليديًا	٥٠-٧٥	٦٠	٣,٠-٧,٠	٤,٥	٤,٨-٩,٧	٦,٤	١٢٠٠	٨٠	٠,٥٤	٢,١
آلات زراعة في سطور	٦٥-٨٥	٧٠	٢,٥-٦,٠	٤,٠	٤,٠-٩,٧	٦,٤	١٢٠٠	٨٠	٠,٥٤	٢,١
الحصاد										
آلة قطف وتقشير الذرة	٦٠-٧٥	٦٥	٢,٠-٤,٠	٢,٥	٣,٠-٦,٥	٤,٠	٢٠٠٠	٧٠	٠,١٤	٢,٣
آلة الحصاد والدراس:										
النوع المقطور	٦٠-٧٥	٦٥	٢,٠-٥,٠	٣,٠	٣,٠-٦,٥	٥,٠	٢٠٠٠	٦٠	٠,١٢	٢,٣
النوع ذاتي الحركة	٦٥-٨٠	٧٠	٢,٠-٥,٠	٣,٠	٣,٠-٦,٥	٥,٠	٢٠٠٠	٣٥	٠,٠٨	٢,١

تابع: جدول ١,١٢.

الآلة	الكفاءة الحقلية المدى (٪)	النمطية (٪)	السرعة الحقلية المدى (ميل/س)	النمطية	المدى (كم/س)	النمطية	العمر المقدر (س)	الإصلاحات خلال العمر نسبة من سعر الشراء	معاملات الإصلاح RF1	RF2
المحشة	٧٥-٨٥	٨٠	٤,٠-٧,٠	٥,٠	٦,٥-١١,٠	٨,٠	٢٠٠٠	١٥٠	٠,٤٦	١,٧
آلة حش وتجهيز الأعلاف	٥٥-٨٠	٧٥	٣,٠-٦,٠	٤,٥	٥,٠-١٠,٠	٧,٠	٢٠٠٠	٨٠	٠,٢٦	١,٦
آلة تقليب جانبية الطرد	٧٠-٨٥	٨٠	٤,٠-٥,٠	٤,٥	٦,٥-٨,٠	٧,٠	٢٠٠٠	١٠٠	٠,٣٨	١,٤
آلة تبييل (عمل البالات)	٦٠-٨٥	٧٥	٢,٥-٥,٠	٣,٥	٤,٠-٨,٠	٥,٥	٢٠٠٠	٨٠	٠,٢٣	١,٨
آلة عمل بالات أسطوانية	٥٥-٧٥	٦٥	٣,٠-٥,٠	٣,٥	٥,٠-٨,٠	٥,٥	٢٠٠٠	٨٠	٠,٢٣	١,٨
آلة تكويم أعلاف طويلة	٥٥-٧٥	٦٠	٢,٥-٤,٥	٣,٥	٤,٠-٧,٠	٥,٥	٢٠٠٠	٨٠	٠,٢٣	١,٨
آلات حصاد الأعلاف:										
النوع المقطور	٥٠-٧٥	٦٥	١,٥-٥,٠	٢,٥	٢,٥-٨,٠	٤,٠	٢٠٠٠	٨٠	٠,٢٦	١,٦
النوع ذاتي الحركة	٦٠-٨٥	٧٠	١,٥-٦,٠	٣,٠	٢,٥-١٠,٠	٥,٠	٢٥٠٠	٤٠	٠,٠٦	٢,٠
آلة حصاد بنجر السكر	٦٠-٨٠	٧٠	٢,٥-٥,٠	٣,٠	٤,٠-٨,٠	٥,٠	٢٥٠٠	٧٠	٠,١٩	١,٤
آلة حصاد البطاطس	٥٥-٧٠	٦٠	١,٥-٤,٠	٢,٠	٢,٥-٦,٥	٣,٠	٢٥٠٠	٧٠	٠,١٩	١,٤
آلة جني القطن	٦٠-٧٥	٧٠	٢,٠-٤,٠	٣,٠	٣,٠-٦,٠	٤,٥	٢٠٠٠	٦٠	٠,١٧	١,٨
أخرى (متنوعة)										
آلة نثر السماد الكيمياوي	٦٠-٧٠	٧٠	٣,٠-٥,٠	٤,٥	٥,٠-٨,٠	٧,٠	١٢٠٠	١٢٠	٠,٩٥	١,٣
رشاشة حقلية بحامل بشابير	٥٠-٨٠	٦٥	٣,٠-٧,٠	٦,٥	٥,٠-١١,٥	١٠,٥	١٥٠٠	٧٠	٠,٤١	١,٣
رشاشة حقلية دفع هوائي	٥٥-٧٠	٦٠	٢,٠-٥,٠	٣,٠	٣,٠-٨,٠	٥,٠	٢٠٠٠	٦٠	٠,٢٠	١,٦
آلة حصاد وتصفيف فول الصويا	٧٠-٩٠	٨٠	٢,٠-٥,٠	٣,٥	٣,٠-٨,٠	٥,٥	٢٠٠٠	٦٠	٠,٢٠	١,٦
آلة تقطيع قمة وسيقان البنجر	٦٠-٨٠	٧٠	٢,٠-٣,٠	٢,٥	٣,٠-٥,٠	٤,٠	٢٠٠٠	٦٠	٠,٢٣	١,٤
نافخة أعلاف							٢٠٠٠	٥٠	٠,١٤	١,٨
عربة							٣٠٠٠	٨٠	٠,١٩	١,٣

مواصفة (ASAE) رقم (D497). **ملاحظة: مواصفات** (ASAE)، التطبيقات الهندسية، والبيانات كلها غير رسمية وهي استشارية فقط. استخدامها من قبل أي شخص في الصناعة أو التجارة يكون طواعية. تفترض الـASAE عدم مسؤوليتها للنتائج الناجمة عن تطبيق هذه المواصفات والتطبيقات الهندسية والبيانات. التوافق غير مضمون الانسجام مع القوانين التطبيقية، والقوانين واللوائح. المستخدمون مسؤولون عن حماية أنفسهم ضد احتمالات مخالفة براءة الاختراع.

وسوف يزداد الوقت الحقيقي اللازم لإنجاز العملية بسبب: التداخل، والوقت اللازم للدوران في نهايات الحقل، والوقت اللازم للتفريغ وتحميل المواد، ... إلخ. وتقلل مثل هذه الفواقد من الكفاءة الحقلية إلى أقل من ١٠٠٪. ويمكن استخدام المعادلة التالية لحساب الكفاءة الحقلية:

$$\eta_f = \frac{\tau_t}{\tau_e + \tau_h + \tau_a} \qquad (١٢,٤)$$

حيث:

τ_e = (τ_t/K_w) = وقت التشغيل الفعلي، س

K_w = احتكاك عرض الآلة المستخدم فعليًا

τ_a = فواقد الوقت التي تتناسب مع المساحة، س

τ_h = فواقد الوقت التي لاتتناسب مع المساحة، س.

تمثل (τ_a) و (τ_h) الطرفين في أنواع فواقد الوقت، ويمكن أن تقع بعض الفواقد بين هذين الطرفين. والأمثلة على فواقد النوع (τ_a) تشمل انسداد بشابير آلات الرش، وإضافة صناديق سماد أو بذور أو تعبئة خزانات آلات الرش. ولمحصول معين، يتناسب الوقت المستنفذ في تفريغ المحصول المحصود مع المساحة ولكن يزداد وقت التفريغ أيضًا مع كمية المحصول. ويتناسب كثير من الفواقد الزمنية من نوع (τ_h) مع وقت التشغيل الفعلي (τ_e)، وهذه تشمل: وقفات الاستراحة، وضبط الآلة، وفترة النقل المفقودة عند نهايات الحقل إذا كان النقل عند سرعة التشغيل العادية. ويمكن أن يكون شكل الحقل ذا تأثير هام على (τ_h)، أي، سوف تكون (τ_h) أقل بالنسبة إلى (τ_e) إذا كان الحقل طويلاً وضيقًا. لذلك سوف تعمل الآلة بدورانات أقل في النهاية عند مساحة حقلية معينة. والوقت اللازم لتحريك الآلة إلى أو من الحقل غير مشمول في حسابات الكفاءة الحقلية، وبدون ذلك سوف تتغير الكفاءة الحقلية بناء على المسافة بين الحقول والمسافة من موقع تخزين الآلة. يوضح المثال رقم (١٢,١) حسابات الكفاءة والسعة الحقلية.

مثال رقم (١٢,١)

آلة حصاد ودراس الذرة ذاتية الحركة ذات رأس ذي ثمانية صفوف المسافة بين كل منها ٧٥ سم، تسير بسرعة ٥ كم/ س وخلال حصاد الذرة تعطي ٩,٤ ميجاجم/ هـ. ومجموع الفقد المتناسب مع المساحة ٧,٦ دقيقة/ هـ والناتج أساساً من تفريغ الحبوب من آلة الحصاد والدراس. وبإهمال أي فقد آخر، احسب (أ) الكفاءة الحقلية والسعة الحقلية على (ب) أساس المساحة، و(جـ) أساس المادة.

الحل. (أ) في حساب الكفاءة الحقلية، افترض الوقت المستخدم خلال حصاد هكتار واحد. من المعلومات المعطاة، (τ_a) تساوي ٧,٦ دقيقة و (τ_h) تساوي صفراً. لتحديد (τ_e) ، نذكر أن صفوف رأس قطع المحصول تستخدم العرض الكلي، لذلك (K_w) تساوي ١ وبذلك فإن ($\tau_e = \tau_t$). فمن المعادلة رقم (١٢,١)، تكون السعة الحقلية النظرية على أساس المساحة:

$$C_{at} = 5\ (8 * 0.75)\ 1.0 / 10 = 3\ \text{ha/h}$$

وبعد ذلك، من المعادلة رقم (١٢,٣):

$$\tau_e = \tau_t = 1/3 = 0.333\ \text{h or } 20\ \text{min}$$

وأخيراً، من المعادلة رقم (١٢,٤)، تكون الكفاءة الحقلية:

$$\eta_f = 20 / (20 + 7.6 + 0) = 0.72$$

(ب) الآن يمكن حساب السعة الحقلية الفعلية على أساس المساحة:

$$C_a = 3 * 0.72 = 2.16\ \text{ha/h}$$

(جـ) وأخيراً، بالضرب في إنتاجية المحصول، يمكن حساب السعة الحقلية على أساس المادة:

$$C_m = 2.16 * 9.4 = 20.3 \text{ Mg/h}$$

يتسبب عطل الآلة في فقد الوقت وانخفاض الكفاءة الحقلية إذا حدث العطل خلال ساعات العمل المحددة. واحتمالية انخفاض وقت الاستفادة من الآلة يساوي واحداً ناقص الاعتمادية التشغيلية للآلة. والطريقة المفيدة لتمثيل اعتمادية الآلة هي حساب متوسط الوقت بين الأعطال. كما هو موضح في مواصفة الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم (EP 456)، فإن اعتمادية مجموعة أو مكونات أو آلات ذات علاقة تسلسلية هو ناتج من الاعتماديات المفردة، أي:

$$R_m = \frac{100\, r_1\; r_2\; \ldots\; r_\lambda}{100^\lambda} \qquad (١٢,٥)$$

حيث:

R_m =اعتمادية الآلة ككل، ٪

r_1، r_2، . . . إلخ = اعتمادية المكون المفرد، ٪

λ = العدد الكلي للمكونات في السلسلة.

يقال للمكونات أنها في سلسلة بحيث، يتوقف عمل الآلة ككل إذا تعطل أي واحد من المكونات. عكسيًا، يمكن زيادة الفاعلية من خلال التكرار، أي، من خلال استخدام المكونات في توازي، بحيث، عندما تفشل المكونة، سوف تأخذ المكونة الموازية عملها. تفيد المعادلة رقم (٥, ١٢) في حساب اعتمادية آلة مفردة بناء على اعتمادية مكوناتها، أو لحساب الاعتمادية الكلية لمجموعة من الآلات بناء على اعتماديتها منفردة. على سبيل المثال، إذا احتاجت عملية حصاد القش إلى استخدام محشة، وآلة تقليب، وآلة عمل البالات في تتابع، فإن الاعتمادية الكلية لعملية الحصاد هو ناتج الاعتماديات المنفردة للمحشة، وآلة التقليب، وآلة عمل البالات.

واحتمال اعتمادية آلة واحدة أو مجموعة من الآلات يكون مساويًا للدقيقة التالية، ولكنها تنخفض مع الوقت. لذلك، الاحتمالية التي سوف تشغل آلة كبيرة ومعقدة بشكل واسع على مدى عدة مواسم بدون عطل تكون أساسًا صفراً. ويقوم المزارعون بإصلاح الآلات خلال توقف الموسم أو تبديل الآلات القديمة بأخرى جديدة من أجل المحافظة على مستوى مقبول للاعتمادية.

تقود العناية المتأنية للمعادلة رقم (١٢,٤) إلى خلاصة وهي أن فواقد الوقت أكثر حساسية بكثير للآلة الكبيرة منه للآلة الأصغر. ومع انخفاض (τ_e) بزيادة (C_{at})، تصبح فواقد الوقت (τ_a) و (τ_h) أكبر بالنسبة إلى (τ_e). لذلك، فعند قيام الشركة بزيادة السعة الحقلية النظرية لحصاداتها، على سبيل المثال، يكون ضروريًا أيضًا زيادة المعدل الذي يمكن عنده، تفريغ خزان الحبوب، وتخفيض الوقت الحقلي اللازم لخدمة الآلة، وتخفيض أي فواقد أخرى. وبالمثل، ففي زيادة حجم آلة الزراعة من سعة أربعة صفوف إلى سعة اثنا عشر صفًا، على سبيل المثال، فمن المهم تقديم وسائل أسرع لتعبئة صناديق البذور في آلة الزراعة الأكبر. خلاف ذلك، سوف تنخفض الكفاءة الحقلية وسوف تزداد السعة الحقلية الفعلية بمعدل أقل من الزيادة في السعة الحقلية النظرية. ويقدم الجدول رقم (١٢,١) مدى من الكفاءات الحقلية والكفاءة الحقلية المثالية لآلات مختلفة.

١٢,٢ تكاليف الآلة

تشتمل تكاليف الآلة على تكاليف الملكية وتكاليف التشغيل بالإضافة إلى الجزاءات لنقص الوقت الأمثل. تميل تكاليف الملكية إلى أن تكون مستقلة عن كمية استخدام الآلة. وتسمى عادة بالتكاليف الثابتة أو الفوقية. عكسيًا، تزداد تكاليف التشغيل بنسبة استخدام الآلة. والتكاليف الكلية للآلة هي مجموع تكاليف الملكية وتكاليف التشغيل. ويمكن حساب تكاليف الملكية، وتكاليف التشغيل، والتكاليف الكلية على أساس سنوي أو بالساعة أو بالهكتار. وتحسب التكاليف الكلية لكل هكتار بقسمة التكاليف السنوية الكلية على المساحة التي غطتها الآلة خلال السنة. والتكاليف المعتادة هي القيمة المدفوعة لاستئجار مشغل وآليات لتنفيذ مهمة معينة.

يمكن لمسؤول المزرعة مقارنة التكاليف الكلية لكل هكتار بالتكاليف المعتادة لتقدير ما إذا كان من الأفضل شراء آلة أو استئجار آليات ومشغل لتنفيذ مهمة معينة. وتتغير تكاليف الملكية لكل هكتار عكسيًا مع كمية الاستخدام السنوي للآلة. لذلك، يجب أن يتوفر أقل مقدار من العمل لتبرير شراء الآلة، وبزيادة العمل المتوفر، تزداد إمكانية التبرير الاقتصادي لتكاليف الملكية.

١٢,٢,١ تكاليف الملكية

تشمل تكاليف الملكية: استهلاك الآلة، وفائدة الاستثمار، والضرائب، والتأمين، وتخزين الآلة.

الاستهلاك. الاستهلاك هو الانخفاض في قيمة الآلة مع الوقت أو الاستخدام. وفي العادة، هو أعلى تكاليف ملكية آلة، لكن لايمكن تحديده إلا بعد بيع الآلة. ومع هذا يوجد عدد من الطرق لتقدير الاستهلاك. إحدى هذه الطرق هي تقدير القيمة الحالية باستخدام دلائل سعر متغيرة للآلات المستخدمة. ويكون الاستهلاك السنوي بشكل عام هو الأعلى في السنة الأولى من عمر الآلة ثم ينخفض سنويًا. وطريقة تجميع أرقام السنة وطريقة التوازن المتناقص كلاهما يعطيان استهلاكًا سريعًا في السنوات الأولى واستهلاك أقل مع زيادة عمر الآلة (Thuesen et al., 1971). ويستخدم الاستهلاك المبكر السريع بواسطة العديد من ملاك الآلات للحصول على ميزات ضريبة الدخل المرتبطة مع مثل هذه الطرق. وللتبسيط في حسابات إدارة الآلات، يمكن استخدام طريقة الاستهلاك ذي الخط المستقيم. مع استهلاك الخط المستقيم، يقسم الفرق بين سعر شراء الآلة وقيمة الخردة على عمر الآلة للحصول على الاستهلاك السنوي. وعلى نحو بديل، يمكن استعادة تكاليف الاستهلاك والفائدة (انظر قسم فائدة الاستثمار) من خلال استخدام عامل استعادة رأس المال. وسيناقش عامل استعادة رأس المال في قسم تكاليف الملكية السنوية الكلية.

عمر الآلة. يمكن تقدير عمر الآلة بواسطة التآكل أو الاستهلاك الكلي. ولايحدث التآكل عند نقطة محددة من الوقت. وبالعكس، تزداد تكاليف الإصلاح اللازمة للحفاظ على تشغيل الآلة تدريجيًا حتى يصبح الاستمرار في الإصلاح غير

اقتصادي. بينما يحدث الاستهلاك الكلي عندما يتوقف تصنيع الآلة وتصبح قطع الغيار غير متوفرة. أو عندما يمكن تبديلها بآلة أخرى أو بطريقة تعطي ربحًا أكبر. ويعطي الجدول رقم (١٢,١) العمر المقدَّر لعدد من الآلات بناءً على العدد الكلي من الساعات حتى تبلى أو تتآكل الآلة. يمكن الحصول على عدد سنوات العمر حتى التآكل بالقسمة على عدد الساعات السنوية المستخدمة. وفي حالات كثيرة، بسبب الاستخدام السنوي المحدود، ستصبح الآلة عديمة الفائدة (خردة) قبل الوصول إلى عمر التآكل المعطى في الجدول رقم (١٢,١). ويعرف مصطلح "العمر الاقتصادي" على أنه الطول الزمني بعد شراء الآلة حيث يكون تغيير الآلة بأخرى أكثر اقتصاديًا بدلاً من الاستمرار مع الأولى، سواء بسبب التآكل أو الاستهلاك الكلي. فالعمر الاقتصادي هو العمر المناسب للاستخدام في حساب تكاليف الملكية.

فائدة الاستثمار. يكون المال المنفق لشراء آلة غير متوفر للإنتاج في مشاريع أخرى. لذلك، تشمل تكاليف الملكية فائدة المال الذي استثمر في الآلة. وإذا استخدم قرض لشراء آلة، يكون معدل الفائدة معروفًا. وإذا تم شراء الآلة نقدًا، يكون معدل الفائدة النسبي هو المعدل السائد الذي يمكن الحصول عليه إذا استثمر المال بدلاً من استخدامه في شراء الآلة. ويكون الأساس الذي تقدر عليه الفائدة مساويًا للقيمة المتبقية للآلة في أي سنة معطاة. وللتبسيط، عندما تستخدم طريقة الخط المستقيم للاستهلاك، تفرض الفائدة السنوية لتكون ثابتة خلال عمر الآلة. وتحسب على متوسط الاستثمار. أي تكلفة الآلة جديدة وقيمتها وهي خردة. وتبادليًا، يمكن شمولها في عامل استعادة المال.

الضريبة، والتأمين والتخزين. تشمل الضرائب ضريبة البيع التي تقدر على سعر شراء الآلة وضريبة الملكية التي تقدر على القيمة المتبقية في أي سنة معينة. للتبسيط، يوزع كل من نوعي الضريبة على عمر الآلة. بعض الولايات (في الولايات المتحدة الأمريكية) ليس لديها ضريبة البيع ولا ضريبة الملكية، ومن ثم فإن تكاليف الضريبة يجب ألا تشمل، في مثل هذه الولايات. وقد لا يعلم مصمم الآلة أي معدل ضريبة سوف يستخدم، خاصة إذا أمكن استخدام الآلة في عدد من الولايات المختلفة. إذا كانت الضريبة الحقيقية غير معروفة، فمن المقبول تقدير تكلفة الضريبة

السنوية عند ١٪ من سعر شراء الآلة.

يمكن عمل تأمين للآلة ضد التلف بالحريق أو أسباب أخرى، أي في حالة معرفة تكاليف التأمين. إذا لم يشتر وثيقة تأمين، فقد تكفل المالك بحمل المخاطرة على نفسه ولكن تكلفة التأمين يجب أن تظل مشمولة. يجب أن تكون تكاليف التأمين بناء على القيمة المتبقية للآلة. وإذا كانت تكاليف التأمين غير معروفة، فمن المقبول تقدير تكاليف التأمين السنوية بـ ٠,٢٥ ٪ من سعر شراء الآلة.

لا توجد بيانات شاملة لإثبات القيمة الاقتصادية لتخزين الآلات الزراعية. ومع ذلك، يكون توفير التخزين في الغالب مصاحبًا لعناية وصيانة أفضل للآلات والذي يمكن أن يزيد من عمر الآلة، ويحسن في المظهر، وقيمة أفضل عند إعادة البيع. إذا توفر المخزن، فتكلفة الموجود يمكن حسابها كتكلفة للتخزين. وإذا لم يتوفر التخزين، فمن المحتمل وجود جزاءات اقتصادية مشاركة مع انخفاض عمر الآلة أو قيمة البيع. لذلك، يجب أن تشمل تكاليف التخزين سواءً وجد التخزين أو لم يوجد. وتعتبر التكاليف السنوية للتخزين ثابتة على مدى عمر الآلة. إذا كانت بيانات تكاليف التخزين غير متوفرة، فمن المقبول تقدير تكاليف التخزين السنوية بـ ٠,٧٥٪ من سعر شراء الآلة.

يمكن تقدير التكاليف الكلية للضريبة، والتأمين والتخزين بـ ٢ ٪ من سعر شراء الآلة مالم تتوفر بيانات أكثر دقة. ورغم أن الضريبة، والتأمين والتخزين صغيرة بالنسبة للتكاليف الكلية للملكية فيجب أن يشملهم تقدير التكاليف الكلية للملكية.

التكاليف الكلية السنوية للملكية. يمكن عرض التكاليف الكلية السنوية للملكية كما نوقش من قبل بالمعادلة التالية:

$$C_{os} = \frac{C_{oa}}{P_u} = (1 - S_v)\left[\frac{I_r\,(1 + I_r)^{\tau_L}}{(1 + I_r)^{\tau_L} - 1}\right] + \frac{K_{tis}}{100} \qquad (١٢,٦)$$

حيث:

C_{os} = تكاليف الملكية السنوية النوعية، ١ / سنة

C_{oa} = تكاليف الملكية السنوية الكلية، دولار/ سنة

P_u = سعر شراء الآلة، دولار

τ_L = العمر الاقتصادي للآلة، سنوات

S_v = قيمة الخردة كنسبة من سعر الشراء

I_r = معدل الفائدة السنوي الحقيقي، كسر عشري

K_{tis} = التكاليف السنوية للضرائب، التأمين والتخزين كنسبة من سعر الشراء.

كما ذكر سابقًا، يمكن فرض (K_{tis}) لتكون ٢ ٪ مالم تتوفر بيانات أفضل. والعامل المحصور بالأقواس المربعة في المعادلة رقم (١٢,٦) هو عامل استعادة رأس المال. وتقل الحاجة إلى استعادة رأس المال إلى المستوى الذي تكون فيه الآلة بقيمة الخردة عند نهاية عمرها الاقتصادي. وفي حالة غياب البيانات الأفضل، يفترض عادة أن قيمة (S_v) تساوي ٠,١، أي تقدر قيمة الخردة بنسبة ١٠٪ من سعر الشراء.

معدل الفائدة الحقيقي، كما عرف بواسطة (Bartholomew, 1981) يكون:

$$I_r = \frac{I_p - I_g}{1 + I_g} \qquad (١٢,٧)$$

حيث:

I_p = المعدل السائد للفائدة السنوية، كسر عشري

I_g = المعدل العام للتضخم، كسر عشري.

تضبط المعادلة رقم (١٢,٧) معدل الفائدة السائد للتضخم. وإذا لم يوجد تضخم، يكون المعدل الحقيقي للفائدة مساويًا للمعدل السائد للفائدة. وإذا كان معدل التضخم أكبر أو مساويًا لمعدل الفائدة السائد، فإن المعدل الحقيقي للفائدة يكون صفرًا وتكون تكاليف الملكيةُ محددة بتكاليف الضريبة، والتأمين والتخزين. وشراء الآلة خلال أوقات التضخم العالي يدعو إلى تكاليف "مغلقة" تجعل ملكية الآلة أكثر جاذبية من التأجير. ويوضح المثال رقم (١٢,٢) حسابات تكاليف الملكية.

مثال رقم (١٢,٢)

آلة حصاد ودراس ذاتية الحركة المعطاة في المثال رقم (١٢,١)، سعر شرائها ١٠٠٠٠٠ دولار، والعمر الاقتصادي المقدَّر ١٠ سنوات، وقيمة الخردة المتوقعة ١٠٪ من التكلفة الجديدة. ومعدل الفائدة السائد وقت الشراء ٨,٥٪، بينما كان المعدل العام للتضخم ٥٪. احسب: (أ) تكاليف الملكية السنوية النوعية، (ب) تكاليف الملكية السنوية الكلية.

الحل. (أ) لم تقدم بيانات عن الضريبة، والتأمين والتخزين، لذلك سوف تفرض لتكون ٢٪ من سعر الشراء، والذي يكون، $(K_{tis} = 2.0)$. من المعادلة رقم (١٢,٧)، يكون المعدل الحقيقي للفائدة:

$$I_r = (0.085 - 0.05) / (1 + 0.05) = 0.033 \text{ or } 3.3\ \%$$

بعد ذلك من المعادلة رقم (١٢,٦)، تكون تكاليف الملكية النوعية:

$$C_{os} = (1 - 0.1)\left[\frac{0.033\ (1 + 0.033)^{10}}{(1 + 0.033)^{10} - 1}\right] + \frac{2}{100} = 0.127$$

(ب) أخيراً، تكون تكاليف الملكية السنوية الكلية:

$$C_{oa} = \$\ 100{,}000 * 0.127 = \$\ 12{,}700 / yr$$

١٢,٢,٢ تكاليف التشغيل

تكاليف التشغيل هي التكاليف المرتبطة باستخدام الآلة، وهي تشمل: تكاليف العمالة، والوقود والزيوت، والإصلاح والصيانة. ويمكن تحديد التكلفة الثابتة للعمالة بالساعة للعاملين وموظفين (بأجر). وإذا كان المالك هو الذي يعمل على الآلة، تقدر تكاليف العمالة من الاستخدام الاختياري لوقت المالك. إذا كانت تكاليف العمالة غير معروفة وقت التحليل، يمكن استخدام المعدل السائد لمجتمع

العمال. ويعطى ناتج قسمة تكاليف العمالة بالساعة على (C_a) تكاليف العمالة لكل هكتار من الأرض التي تم خدمتها بواسطة الآلة.

تكاليف الوقود والزيوت. لأي عملية معينة، يمكن حساب تكاليف الوقود (أو الزيوت) لكل هكتار باستخدام المعادلة التالية:

$$C_s = \frac{p_L Q_i}{C_a} \qquad (١٢,٨)$$

حيث:

C_s = تكاليف الوقود (الزيوت) لكل هكتار، دولار/ هـ

p_L = سعر الوقود (زيوت)، دولار/ لتر

Q_i = الوقود (الزيوت) المستهلك بواسطة المحرك، لتر/ س

C_a = السعة الحقلية الفعلية خلال العملية، هكتار/ س.

من المتغيرات الثلاثة المستقلة الموجودة في المعادلة رقم (١٢,٨)، (Q_i) متغير يصعب جداً تقدير قيمتها الحقيقية. والخطوة الأولى هي تقدير قدرة المحرك اللازم لتنفيذ العملية. وقد ألقت الفصول السابقة في هذا الكتاب نظرة على متطلبات القدرة لمختلف العمليات. ويجب أن تحول متطلبات القدرة المحسوبة عند قضيب الشد إلى مايعادلها من قدرة عمود مأخذ القدرة. وبعد حساب القدرة الكلية المناسبة لعمود مأخذ القدرة، يمكن تقدير استهلاك الوقود النوعي للمحرك. وتقدم بيانات مواصفة الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم (D 497) معادلات استهلاك الوقود النوعي لمحركات البنزين والديزل، أو الغاز المسال، وبما أن معظم الجرارات الزراعية ذات محركات ديزل في الوقت الحاضر، أعطيت هنا معادلة الديزل فقط:

$$SFC_v = 3.91 + 2.64\,X - 0.203\sqrt{173 + 738\,X}$$

$$\text{If } X > 0.856, \qquad SFC_v = 0.411\ \text{L / kW.h} \qquad (١٢,٩)$$

حيث:

SFC_v = الاستهلاك النوعي للوقود، على أساس الحجم، لتر/ كيلوواط. س
X = النسبة بين متطلبات قدرة عمود مأخذ القدرة إلى أقصى قدرة متاحة لعمود مأخذ القدرة.

ويتراوح مدى القيم النمطية لـ (X) من حوالي ٢, ٠ لعمليات الرش إلى ٨٥, ٠ للحراثة الأولية. ويضرب (SFC_v) في قدرة عمود مأخذ القدرة المناسبة للعملية، نحصل على استهلاك الوقود المقدر لتنفيذ العملية (Q_i) .

يمكن حساب تكاليف استهلاك الزيوت لكل هكتار باستخدام المعادلة رقم (٦, ١٢) مع إحلال كلمة زيت محل كلمة وقود. وتعطي مواصفة الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين رقم (D 497) معادلات لتقدير استهلاك الزيوت لكل هكتار لمحركات البنزين والديزل أو الغاز البترولي المسال. ومعادلة محركات الديزل هي:

$$Q_i = \frac{21.69 + 0.59 * P_r}{1000} \qquad (١٢,١٠)$$

حيث:

Q_i = استهلاك الزيت، لتر/ س
P_r = القدرة المقدرة للمحرك، كيلوواط.

تعتمد المعادلة رقم (١٠, ١٢) في تغير الزيت على خزان المرفق عند معدل التغير الموصى به من المصنع، ولاتشمل الزيت الذي يجب إضافته بين فترات تغيير الزيت، ولاتشمل أيضًا الزيوت الهيدرولية/ النقل أو المزيتات الأخرى. والتكاليف الكلية لجميع المزيتات تعادل مايتراوح من ١٠ إلى ١٥٪ من تكاليف الوقود.

تكاليف الإصلاح والصيانة. تكاليف الإصلاح والصيانة ذات تغير عال بناءً على العناية المقدمة من المسؤول عن الآلة. وسوف تكون هناك بعض النفقات الضرورية لتغيير الأجزاء المتآكلة أو العاطلة أو إصلاح إصابة من حادث. وتميل تكاليف الإصلاح والصيانة إلى الزيادة مع الحجم والتعقيد في الآلة وكذلك مع سعر شرائها. يمكن استخدام المعادلة التالية من مواصفة الجمعية الأمريكية للمهندسين

الزراعيين رقم (EP 496) لتقدير التكاليف التراكمية للإصلاح والصيانة :

$$\frac{C_{rm}}{P_u} = RF_1 \left[\frac{t}{1000}\right]^{RF_2} \qquad (١٢ , ١١)$$

حيث :

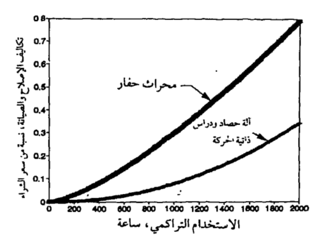
C_{rm} = التكاليف التراكمية للإصلاح والصيانة، دولار

t = الاستخدام المتراكم، س

RF_2, RF_1 = معاملات الإصلاح من الجدول رقم (١ , ١٢).

وللتصحيح في حالة التضخم، يضرب سعر الشراء المحسوب من المعادلة رقم (١١ , ١٢) في $((1+I_g)^n)$ حيث (n) عمر الآلة بالسنوات. لاحظ أن التكاليف التراكمية للإصلاح والصيانة تتغير من سنة إلى أخرى. ويمكن تقدير متوسط تكاليف الإصلاح والصيانة لكل ساعة من خلال تقدير العمر الاقتصادي الكلي للآلة بالساعات، واستخدام المعادلة رقم (١١ , ١٢) لحساب تكاليف الإصلاح والصيانة الكلية على مدى عمر الآلة، ومن ثم تقسيم التكاليف الكلية على العمر الاقتصادي بالساعات. بعد ذلك بقسمة متوسط التكاليف الكلية على (C_a)، يستطيع شخص الحصول على متوسط تكاليف الإصلاح والصيانة لكل هكتار من المساحة المستخدمة بواسطة الآلة. وتكون تكاليف الإصلاح والصيانة مكونًا هامًا من مكونات التكاليف الكلية. على سبيل المثال، يوضح استخدام المعادلة رقم (١١ , ١٢) مع بيانات الجدول رقم (١ , ١٢) أنه لجرار ما، يمكن أن تتساوى تكاليف الإصلاح والصيانة على مدى عمر الجرار مع سعر شرائه. ويوضح الشكل رقم (١ , ١٢) التكاليف التراكمية للإصلاح والصيانة لآلتين مختلفتين. وكنسبة من سعر الشراء، تتزايد التكاليف التراكمية للإصلاح والصيانة للمحراث الحفار بصورة أسرع منه في آلة الحصاد والدراس ذاتية الحركة. وعند نهاية الـ ٢٠٠٠ ساعة، على سبيل المثال، تصبح التكاليف التراكمية للإصلاح والصيانة للمحراث ٢ , ٧٩٪ من سعر الشراء. والقيمة المماثلة لآلة الحصاد والدراس هي ٣ , ٣٤٪ فقط. ومع هذا، فإن سعر شراء آلة الحصاد والدراس حوالي عشرة أضعاف سعر المحراث. لذلك، بصورة الدولارات، تكون تكاليف

الإصلاح والصيانة لآلة الحصاد والدراس أكثر من أربعة أضعاف مثيلتها للمحراث.



شكل ١٢,١. التكاليف التراكمية للإصلاح والصيانة لآلتين كنسبة من سعر الشراء للآلتين التاليتين: محراث حفار، آلة حصاد ودراس ذاتية الحركة.

١٢,٢,٣ تكاليف الوقت الأمثل

يوجد وقت مثالي في السنة لتنفيذ بعض العمليات الحقلية وتحدث جزاءات اقتصادية إذا نفذت العمليات في وقت مبكر جداً أو متأخر جداً. فعند حصاد محصول ما، على سبيل المثال، يمكن أن يفقد المحصول بزيادة الكسر فيه، ويمكن أن يفقد المحصول أو يمكن أن تنخفض نوعية المحصول إذا بدأ الحصاد مبكراً جداً أو أجل إلى مابعد الوقت الأمثل. في الحالة الشاذة، يمكن أن تحد سعة الآلة غير المناسبة من إكمال الحصاد قبل أن يهلك الطقس السيء المحصول المتبقي. لذلك، فمن المقنع اقتصادياً زيادة تكاليف الآلة عبر شراء آلة بسعة أكبر وذلك عندما تتمكن الآلة من تنفيذ عمل أكبر وأكثر دقة في الوقت نفسه. لذلك فمصطلح "تكلفة الوقت الأمثل" مهم في تحليل تكاليف الآلة. ويمكن حساب تكاليف الوقت الأمثل باستخدام المعادلة التالية:

$$C_t = \frac{K_\tau \, A \, Y \, V}{\lambda_o \, T \, C_a \, p_{wd}} \qquad (12.12) \quad (١٢,١٢)$$

حيث:

C_t = تكاليف الوقت الأمثل، دولار/ هـ

K = معامل الوقت الأمثل، نسبة من قيمة المحصول السنوي المفقود لكل يوم، انظر الجدول رقم (٢, ١٢)

A = مساحة المحصول، هـ/ سنة

Y = إنتاجية المحصول، ميجاجم/ هـ

V = قيمة المحصول، دولار/ ميجاجم

λ_o = ٢، إذا بدأت العملية وانتهت عند الوقت المثالي

= ٤، إذا أمكن تقسيم العملية بالتساوي حول الوقت المثالي

T = الوقت المتوقع توفيره للعمل الحقلي، س/ يوم

C_a = السعة الحقلية الفعلية للآلة، هـ/ س

P_{wd} =احتمالية يوم عمل جيد، نسبة، انظر الجدول رقم (٣, ١٢).

المعامل (K_t) هو نسبة المحصول المفقود عن كل يوم تأخير في العملية. ومن الواضح أن معامل الوقت الأمثل يتغير مع نوعية العملية. بإعطاء التاريخ الأمثل للبذار، كمثال، سوف تقل إنتاجية المحصول بالزراعة المبكرة أو المتأخرة عن هذا التاريخ. وبما أنه يمكن توازن فترة الزراعة الحقيقية حول التاريخ الأمثل ($\lambda_o = 4$) للزراعة. وعلى العكس، لايوجد معامل الوقت الأمثل مشتركًا مع الحراثة مالم يؤدي تأخر الحراثة إلى تأخر الزراعة. ولمعظم عمليات الحصاد تكون ($\lambda_o = 2$)، لأنه ليس من الواضح عادة بدء الحصاد حتى ينضج المحصول. لاحظ أن مقام المعادلة رقم (١٢, ١٢) ذو علاقة مع السرعة التي يمكن بها تنفيذ العملية، وأداء ساعات أكثر من اليوم و/ أو استخدام آلة ذات سعة أكبر يؤدي إلى خفض الوقت اللازم لإتمام العملية. ويعني استخدام ($\lambda_o = 4$) بداية متقدمة للعملية وبالتالي إتمام مبكر. ويؤثر الطقس أيضًا على عدد الأيام اللازمة لإتمام العملية، لأن العملية يجب أن تتوقف أثناء الطقس السيء. وكما أشير في الجدول رقم (٣, ١٢)، تتغير (P_{wd}) مع الموقع الجغرافي وتتغير أيضًا خلال السنة في معظم المواقع الجغرافية. ويوضح المثال رقم (٣, ١٢) حسابات تكاليف التشغيل.

جدول ٢,١٢. معاملات الوقت الأمثل.

العملية		K_T, 1/day	
الحراثة (تعتمد على ماإذا كانت الزراعة متأخرة بواسطة الحراثة السابقة)		٠,٠٠٠ - ٠,٠١٠	
البذر			
ذرة (انديانا، الينوي، أيوا، شرق نبراسكا، شرق كانساس)			
الرطوبة المتاحة في منطقة الجذورعند الزراعة، سم	ابريل	مايو	يونية
١٠	٠,٠١٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٢
٢٠	٠,٠٠٦	٠,٠٠١	٠,٠٠٣
٣٠	٠,٠٠٣	٠,٠٠٤	٠,٠٠٦
قمح، يوتاه		٠,٠٠٨	
شمال داكوتا		٠,٠٠٧	
فول الصويا، ويسكنسون، مايو ويونية		٠,٠٠٥	
ميزووري، الينوي، يونية		٠,٠٠٦	
محصول مزدوج بعد القمح، الينوي		٠,٠١٠	
قطن، لوبوك، تكساس			
أبريل		٠,٠٠٤	
مايو		٠,٠٢٠	
مسيسبي، أبريل و مايو		٠,٠٠٧	
شعير، يوتاه		٠,٠٠٨	
شمال داكوتا		٠,٠٠٧	

تابع: جدول ٢, ١٢.

العملية	K_T, 1/day
شوفان، الينوي وميتشجان	٠,٠١٠
ويسكانسون بعد ٦ مايو	٠,٠١٢
ألاباما، الخريف	٠,٠٠٠
يوتاه	٠,٠٠٨
نبات الريب (عشبة أوروبية)، مانيتوبا	٠,٠٠٣
أرز، كاليفورنيا، مايو	٠,٠١٠
العزيق الصفي، الينوي، فول الصويا	٠,٠١١
العزيق بالعزاقة الدورانية، أيوا، فول الصويا	٠,٠٢٨
الحصاد	
عمل العلف، ميتشجان، يونيو	٠,٠١٨
تقشير الذرة، أيوا	٠,٠٠٣
كيزان الذرة، الينوي، بعد ٢٦ اكتوبر	٠,٠٠٧
فول الصويا، الينوي (تعتمد على الصنف)	٠,٠٠٦ - ٠,٠١٠
قمح، أوهايو	٠,٠٠٥
قطن، ألاباما	٠,٠٠٢
أرز، كاليفورنيا	٠,٠٠٩
قصب السكر، كوينلاند، أستراليا	
قبل المثالي	٠,٠٠٢
بعد المثالي	٠,٠٠٣

مواصفة (ASAE) رقم (D497). ملاحظة: مواصفات (ASAE)، التطبيقات الهندسية، والبيانات كلها غير رسمية وهي استشارية فقط. استخدامها من قبل أي شخص في الصناعة أو التجارة يكون طواعية. تفترض الـASAE عدم مسؤوليتها للنتائج الناجمة عن تطبيق هذه المواصفات والتطبيقات الهندسية والبيانات. التوافق غير مضمون الانسجام مع القوانين التطبيقية، والقوانين واللوائح. المستخدمون مسؤولون عن حماية أنفسهم ضد احتمالات مخالفة براءة الاختراع.

جدول ٣, ١٢ . احتمالات يوم عمل.

المنطقة		وسط الينوي		ولاية أيوا		جنوب شرق ميتشجان		ولاية كارولينا الجنوبية		جنوب أونتاريو كندا		دلتا المسيسبي	
التربة		تـرب البراري		متوسط الولاية		طينية طميية		طينية طميية		طينية طميية		طينية	
ملاحظات		بيانات ١٨ عام		بيانات ١٧ عام		محاكاة (حرارة فقط)		محاكاة (حرارة فقط)		محاكاة (حرارة فقط)		محاكاة (حرارة فقط)	
		في أوائل الربيع وأواخر الخريف، يمكن أن تكون Pwd ٠,٠٧ في أيوا والينوي وتزيد في الشمال والجنوب وأقل من ٠,٠٧ في الغرب والشرق						يمكن أن تشغل التربة الرملية كل الأشهر وقيمة Pwd لها أعلى		تبدأ مبكراً من ٧ – ١٠ أيام في التربة الرملية، Pwd أكبر من ٠,١٥		لا حرارة، Pwd للتربة الرملية أعلى إلى حد ما في الشتاء و أوائل الربيع	
متوسط التاريخ	فترة لكل أسبوعين	مستوى الاحتمالات، نسبة مئوية											
		٥٠	٩٠	٥٠	٩٠	٥٠	٩٠	٥٠	٩٠	٥٠	٩٠	٥٠	٩٠
يناير وفبراير	–	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠١	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠٧	٠,٠
٧ مارس	١	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	--	--	٠,٠	٠,٠	--	--
٢١ مارس	٢	٠,٢٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠٣	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,١٨	٠,٠
٤ أبريل	٣	٠,٤٢	٠,١٣	٠,٣٩	٠,١٦	٠,٠	٠,٠	--	--	٠,٠١	٠,٠	--	--
١٨ أبريل	٤	٠,٤٧	٠,١٩	٠,٥٧	٠,٣٨	٠,٢	٠,٠	٠,٢٩	٠,٠٦	٠,٠٧	٠,٠	٠,٣٥	٠,٠٨
٢ مايو	٥	٠,٥٤	٠,٣١	٠,٦٦	٠,٤٨	--	--	--	--	٠,٦٢	٠,٠٢	--	--
١٦ مايو	٦	٠,٦١	٠,٣٤	٠,٦٨	٠,٤٧	٠,٦١	٠,٣٢	٠,٦٤	٠,٣٧	٠,٦٠	٠,٠٢	٠,٥٨	٠,٢٨

تابع جدول ١٢,٣.

متوسط التاريخ	فترة لكل أسبوعين	مستوى الإحتمالات، نسبة مئوية											
		٥٠	٩٠	٥٠	٩٠	٥٠	٩٠	٥٠	٩٠	٥٠	٩٠	٥٠	٩٠
٣٠ مايو	٧	٠,٦٣	٠,٤٠	٠,٦٦	٠,٤٧	—	—	—	—	٠,٧٩	٠,١٦	—	—
١٣ يونية	٨	٠,٦٦	٠,٤١	٠,٦٩	٠,٥٢	٠,٦٩	٠,٤٢	٠,٧٢	٠,٤٦	٠,٧٧	٠,٢٢	٠,٦٩	٠,٣٩
٢٧ يونية	٩	٠,٧٢	٠,٥٣	٠,٧٤	٠,٥٧	—	—	—	—	٠,٨٠	٠,٢٣	—	—
١١ يوليو	١٠	٠,٧٢	٠,٥٢	٠,٧٧	٠,٦٤	٠,٧٥	٠,٥٢	٠,٦٧	٠,٤٣	—	—	٠,٦٣	٠,٢٥
٢٥ يوليو	١١	٠,٧٢	٠,٥٤	٠,٨٠	٠,٦٧	—	—	—	—	—	—	—	—
٨ أغسطس	١٢	٠,٧٨	٠,٦٤	٠,٨٠	٠,٦٨	٠,٧٤	٠,٥٣	٠,٧٣	٠,٥١	—	—	٠,٧٢	٠,٤٥
٢٢ أغسطس	١٣	٠,٨٦	٠,٧٤	٠,٨٦	٠,٧٩	—	—	—	—	—	—	—	—
٥ سبتمبر	١٤	٠,٨١	٠,٦٦	٠,٧٩	٠,٦٤	٠,٧٠	٠,٣٥	—	—	—	—	—	—
١٩ سبتمبر	١٥	٠,٦٥	٠,٤٢	٠,٦٩	٠,٤٦	—	—	٠,٧٢	٠,٤٦	—	—	٠,٨٠	٠,٥٨
٣ أكتوبر	١٦	٠,٧٢	٠,٥٢	٠,٧١	٠,٤٨	٠,٥٩	٠,٢٦	—	—	—	—	—	—
١٧ أكتوبر	١٧	٠,٧٦	٠,٥٨	٠,٧٩	٠,٦٤	—	—	٠,٦١	٠,٢٣	—	—	٠,٧٦	٠,٤٢
١ نوفمبر	١٨	٠,٧٢	٠,٥٠	٠,٧٥	٠,٥٥	٠,٤٢	٠,٠٦	—	—	—	—	—	—
١٥ نوفمبر	١٩	٠,٦٧	٠,٤٧	٠,٧٣	٠,٥٤	—	—	٠,٣٣	٠,٠٢	—	—	٠,٤٣	٠,٠
٢٩ نوفمبر	٢٠	٠,٥٤	٠,٤٣	٠,٨٢	٠,٧٠	٠,٠٧	٠,٠	—	—	—	—	—	—
١٣ ديسمبر	٢١	—	—	—	—	—	—	٠,٠٢	٠,٠	—	—	٠,١٠	٠,٠

ضبطت لأيام الأحد والعطلات بضرب P_{wd} أعلاه في ٠,٨٦ ، ٠,٨٢ ، ٠,٧٨ ، و ٠,٠٧٥ للأشهر ٠ ، ١ ، ٢ ، ٣

ملاحظة: مواصفات الـ (ASAE) ، التطبيقات الهندسية، والبيانات كلها غير رسمية وهي استشارية فقط. استخدامها من قبل أي شخص في الصناعة أو التجارة يكون طواعية. تفترض الـ ASAE عدم مسؤوليتها للنتائج الناجمة عن تطبيق هذه المواصفات والتطبيقات الهندسية والبيانات. التوافق غير مضمون الانسجام مع القوانين التطبيقية، والقوانين واللوائح. المستخدمون مسؤولون عن حماية أنفسهم ضد احتمالات مخالفة براءة الاختراع.

مثال رقم (١٢,٣)

استخدمت آلة الحصاد والدراس في المثالين رقمي (١٢,١) و(١٢,٢) لحصاد الذرة في الغرب الأوسط للولايات المتحدة الأمريكية في أوائل شهر سبتمبر. قيمة المحصول ٩٨ دولار/ ميجاجم. تستخدم آلة الحصاد والدراس بمتوسط عشر ساعات في اليوم و٢٠٠ ساعة في السنة. قدرة المحرك ١٢٠ كيلوواط ويستخدم ٩٥ كيلوواط من القدرة خلال الحصاد والدراس. تكلفة وقود الديزل ٠,٣ دولار/ لتر، بينما تكاليف زيوت المحرك ١,٠٥ دولار/ لتر. تكاليف العمالة ٦ دولارات/ س. احسب (أ) التكاليف الكلية للتشغيل لكل هكتار، باستثناء تكاليف الوقت الأمثل، (ب) التكاليف الجزائية للوقت الأمثل، (جـ) التكاليف الكلية لكل هكتار.

الحل. (أ) من المثال رقم (١٢,١)، السعة الحقلية لآلة الحصاد والدراس ٢,١٦ هـ/ س. لذلك، فإن تكاليف العمالة لكل هكتار:

$$\$ \ 6.00 / 2.16 = \$ \ 2.78 / \text{ha}$$

بعد ذلك، سوف تحسب تكاليف الوقود والزيوت لكل هكتار. من المعادلة رقم (١٢,٩) بنسبة القدرة الحقيقية إلى أقصى قدرة ٩٥/ ١٢٠ = ٠,٧٩. ويكون استهلاك الوقود النوعي للمحرك:

$$SFC_v = 3.91 + 2.64 * 0.79 - 0.203\ (173 + 738 * 0.79)^{0.5} = 0.414 \text{ L/kW.h}$$

واستهلاك الوقود لكل ساعة:

$$Q_{if} = 0.414 * 95 = 39.3 \text{ L/h}$$

من المعادلة رقم (١٢,٨) وباستخدام السعة الحقلية الفعلية من المثال رقم (١٢,١) فإن تكاليف الوقود لكل هكتار:

$C_{sf} = 0.30 * 39.3 / 2.16 = \$ 5.46 / ha$

وبعد ذلك من المعادلة رقم (١٠ , ١٢)، فإن معدل استهلاك الزيوت المتوقعة :

$Q_{io} = (21.69 + 0.59 * 120) / 1000 = 0.092 L/h$

ومرة أخرى، من المعادلة رقم (٨ , ١٢) فإن تكاليف الوقود لكل هكتار :

$C_{so} = 1.05 * 0.092 / 2.16 = \$ 0.04 / ha$

ولحساب تكاليف الإصلاح والصيانة، نستخدم المعادلة رقم (١١ , ١٢) أولاً لحساب التكاليف التراكمية للإصلاح والصيانة بعد عشر سنوات من الاستخدام عند ٢٠٠ ساعة لكل سنة. ويصحح سعر الشراء لـ ٥٪ من معدل التضخم، وبالتالي يكون السعر المعدل :

$P_u = \$ 100,1000 (1 + 0.05) 10 = \$ 162,889$ adjusted price

بعد ذلك من المعادلة رقم (١١ , ١٢) وباستخدام المعاملات (RF) من الجدول رقم (١ , ١٢):

(التكاليف الكلية للإصلاح والصيانة)

$C_{rm} = 162,889 * 0.08 (2000 / 1000) 2.1 = \$ 55,866$

ويؤدي الحصاد عند معدل ٢,١٦ هـ/ س لـ ٢٠٠٠ ساعة، إلى أن آلة الحصاد والدراس تحصد ٤٣٢٠ هكتار خلال عمرها الاقتصادي. لذلك، تكون تكاليف الإصلاح والصيانة لكل هكتار :

$$55,866 / 4.320 = \$ \ 12.93 / ha$$

وتكون التكاليف الكلية للتشغيل لكل هكتار، باستثناء التكاليف الجزائية ـقت الأمثل:

$$2.78 + 5.46 + 0.04 + 12.93 = \$ \ 21.21 / ha$$

(ب) تحسب التكاليف الجزائية للوقت الأمثل باستخدام المعادلة رقم (١٢ , ١٢). ومن الجدول رقم (٢ , ١٢) ($k_t = 0.003$). من الجدول رقم (٣ , ١٢) قيم المتوسطة لولايتي إلينوي و أيوا ($p_{wd} = 0.65$) عند مستوى احتمال ٩٠٪. تحصد ة الحصاد والدراس ٤٣٢ هـ/ سنة إذا كان معدل الحصاد ٢ , ١٦ هـ/ س ولمدة ٢٠٠ ں/ سنة. لذلك، بإدخال القيم في المعادلة رقم (١٢ , ١٢) كما أعطيت في الأمثلة ثلاث، تكون التكاليف الجزائية للوقت الأمثل:

$$C_t = \frac{0.003 * 432 * 9.4 * 98}{2 * 10 * 2.16 * 0.65} = \$ \ 33.66 / ha$$

(جـ) من المثال رقم (٢ , ١٢) تكاليف الملكية السنوية ١٢٧٠٠ دولار/ سنة عند قسمتها على ٤٣٢ هكتار من الحصاد السنوي تكون تكلفة الهكتار الواحد ,٢٩ دولار. لذلك تكون التكاليف الكلية لكل هكتار:

تكاليف الملكية	٢٩ , ٤٠ دولار/ هـ
تكاليف التشغيل باستثناء جزاءات الوقت الأمثل	٢١ , ٢١ دولار/ هـ
التكاليف الجزائية للوقت الأمثل	٣٣ , ٦٦ دولار/ هـ
التكاليف الكلية	٨٤ , ٢٧ دولار/ هـ

تستهلك تكاليف الحصاد حوالي ٩٪ من الإيراد الكلي لزراعة محصول الذرة، والذي يكون ٩,٤ ميجاجم/ هـ = ١٢,٩٢١ دولار/ هـ. وآلة الحصاد والدراس المستخدمة في الأمثلة من رقم (١٢,١) إلى رقم (١٢,٣) يمكن أن لا تملك السعة المثالية. في الجزء رقم (١٢,٣) سوف تعرض طريقة لاختيار السعة المثالية.

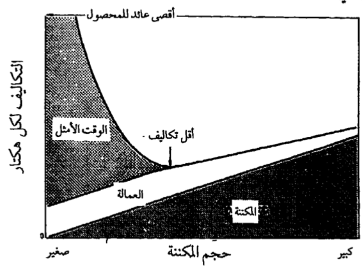
١٢,٣ اختيار واستبدال الآلات

١٢,٣,١ اختيار الآلات

إن اختيار السعة الحقلية المناسبة للآلة مشكلة مهمة لكل من مصمم الآلة والمزارع. فمن وجهة نظر المزارع، توجد سعة حقلية مثلى لأقصى إيراد والهدف هو تحديد تلك السعة المثالية. وبما أن المزارع يرغب في شراء آلة ذات سعة مثلى، فإن مصمم الآلة أيضًا لديه الرغبة الشديدة في تصميم الآلات بأحجام مثلى لمزارع ذات أحجام مختلفة. وتوضح المشكلة في اختيار الآلات في الشكل رقم (١٢,٢)، حيث تقدر الآلات بالأحجام المختلفة لمزرعة معروفة الحجم. ويوضح في الشكل ثلاثة أنواع من التكاليف. تشمل تكاليف الآلة جميع تكاليف الملكية وتكاليف التشغيل ماعدا العمالة، حيث تعرض منفصلة. وتعرض أيضًا تكاليف الوقت الأمثل. تزداد تكاليف الآلة لكل هكتار مع زيادة حجم الآلة، لأن حجم الأرض الزراعية ثابت والآلات الأكبر تكلف أكثر من الآلات الأصغر حجمًا. وتخفض الآلات الأكبر تكاليف العمالة بإتمام العمل بصورة أسرع. لذلك، إذا لم يؤخذ الوقت الأمثل، فالآلات الأصغر تعتبر الأكثر اقتصادية. ومع هذا، ترتفع تكاليف الوقت الأمثل في الاعتبار بحدة عندما تكون الآليات صغيرة جداً ويرغب في إكمال العمل في الوقت المحدد. وكما هو موضح في الشكل رقم (١٢,٢) فإن حجم الآلة الأمثل هو الحجم الذي يقلل مجموع تكاليف الوقت الأمثل مع تكاليف الآلة شاملة العمالة.

رياضيًا، يمكن تحديد السعة الحقلية التي تعطي أقل تكاليف كلية لآلة معينة عبر توحيد جميع معادلات التكاليف في معادلة واحدة ونفاضلها بالنسبة للسعة الحقلية.

والناتج معطى في المعادلة التالية :



شكل ١٢,٢ . التكاليف ذات العلاقة بحجم الآلة لمزرعة معية .
(عن : Burrows and Siemens, 1974.)

$$C_{aopt} = \sqrt{\frac{A}{C_{os}\, K_p}\left[L_c + T_{fc} + \frac{K_\tau\, A\, Y\, V}{\lambda_o\; T\, p_{wd}}\right]} \qquad (١٢,١٣)$$

حيث :

C_{aopt} = السعة الحقلية الفعلية المثلى ، هـ/ س

L_c = تكاليف العمالة ، دولار/ س

T_{fc} = تكاليف الملكية المحددة لجرار ، دولار/ س .

ويمكن تقدير قيمة (T_{fc}) باستخدام المعادلة التالية :

$$T_{fc} = \frac{C_{oat}}{\tau_A} \qquad (١٢,١٤)$$

حيث :

T_{fc} = كمية التكلفة للآلة باستخدام الجرار ، دولار/ س

C_{oat} = تكاليف الملكيــة السنوية للجــرار ، دولار/ سنة ، من المعــادلة رقم (١٢,٦)

τ_A = الاستخدام السنوي الكلي للجرار، س/ سنة.

وقد عرفت المكونات المتبقية في المعادلة رقم (١٣ , ١٢) سابقًا، ماعدا (K_p)، دالة وحدة السعر. وتعرف على أنها الزيادة في السعر بإضافة وحدة واحدة من السعة الحقلية. يمكن تحديد قيمة (K_p) بمقارنة أسعار مجموعة من الآلات التي تتغير في السعة فقط. إذا رسم سعر البيع مقابل السعة الحقلية لمجموعة من الآلات، فميل الخط يساوي (K_p) . إذا كانت الزيادة في السعة واضحة على أساس العرض، كما في آلات الحراثة، فإن سعر الشراء يجب أن يرسم مقابل العرض. ويكون ميل الخط بعد ذلك السعر لكل وحدة زيادة من العرض، ويمكن حساب (K_p) باستخدام المعادلة التالية:

$$K_p = \frac{10\,P_w}{v\,\eta_f} \qquad (١٢ , ١٥)$$

حيث:

K_p = دالة وحدة السعر، دولار. س/ هـ

v = السرعة الأمامية، كم/ س

η_f = الكفاءة الحقلية، كسر عشري

P_w = السعر المقابل للزيادة في وحدة العرض، دولار/ م.

يمكن للمعادلة رقم (١٣ , ١٢) تقدير السعة المثلى لآلة مفردة. ومع ذلك، عادةً، يحتاج إلى مجموعة من الآلات في عمليات الزراعة وهذه الآلات يجب أن يكون لديها سعات حقلية متناسقة مع بعضها ومع الجرار. على سبيل المثال، فكل من: الجرار، والمحراث، والقرص، وآلة الزراعة، وآلة الحصاد والدراس، وآلات أخرى محتملة يمكن الاحتياج إليها لزراعة فول الصويا. وكل آلة لديها فترة محددة من السنة يجب إتمام العمل خلالها. ويعرف مصطلح "الجدولة" على أنه تحديد الفترات الزمنية خلال السنة عندما يمكن تنفيذ كل عملية. وبعد إنهاء الجدولة يمكن حساب السعة باستخدام المعادلة التالية:

$$C_a = \frac{A}{\tau_{ad}\ T\ p_{wd}} \quad (١٢,١٦)$$

حيث:

C_a = السعة الحقلية الفعلية اللازمة لإتمام العمل، هـ/س

A = المساحة المراد عملها، هـ

T = عدد ساعات العمل اليومي، س/يوم

τ_{ad} = الوقت المتاح لإتمام العمل، يوم

p_{wd} = احتمالية يوم عمل جيد، كسر عشري، انظر الجدول رقم (١٢,٣).

ويجب أن يكون الجرار كبيراً بصورة كافية لتقديم القدرة إلى الآلة ذات أقصى قدرة متطلبة. وإذا كانت متطلبات القدرة للآلات ذات تغير كبير، فسوف يستخدم الجرار بكفاءة منخفضة مع الآلات ذات أصغر قدرة مطلوبة. لذلك، قد يكون من الأفضل اختيار بعض الآلات بسعة أكبر من المحسوب باستخدام المعادلتين رقمي (١٢,١٣) و(١٢,١٦). وتصبح الحسابات أكثر تعقيداً عندما يسمح حجم المزرعة للمالك بامتلاك أكثر من جرار أو أكثر من آلة حصاد ودراس. وعلاوة على ذلك، استخدام معاملات ثابتة للوقت الأمثل (K_t) يزيد من التسهيل. في الواقع، قد يوجد قليل من الانخفاض في إنتاجية المحصول أو قد لا يوجد إذا أمكن إتمام تنفيذ العمليات خلال فترات الجدولة العادية. ويجب أن نقدر الجزاءات اليومية لتأخير العمل بعد فترة الجدولة فقط. وللحصول على واقعية أكبر، صممت برامج حاسب آلي لجدولة عمليات الآلات الزراعية واختيار الأنظمة المثلى للآلات الزراعية (أنظر كمثال Rotz et al., 1983، (Siemens et al.,1990)). ولتسهيل الأنظمة فقط، فمن الضروري استخدام برامج مماثلة للحصول على نتائج واقعية. ويوضح المثال رقم (١٢,٤) حسابات الحجم الأمثل لآلة مفردة.

مثال رقم (١٢,٤)

باستخدام بيانات من الأمثلة أرقام من (١٢,١) إلى (١٢,٣)، احسب سعة آلة الحصاد والدراس المثلى لحصاد الذرة. افرض أن، من تحليل أسعار الشراء لآلتي

حصاد ودراس ذاتيتي الحركة ، تكون دالة وحدة السعر ٢٠٠٠٠ دولار . س/ هـ .

الحل . البيانات اللازمة لاستخدام المعادلة رقم (١٣ , ١٢) متوفرة. لاحظ أن ($T_{fc} = 0$) في هذا المثال ، بسبب عدم استخدام جرار مع آلة الحصاد والدراس ذاتية الحركة . فالحجم الأمثل :

$$C_{aopt} = \sqrt{\frac{432}{0.127 * 20,000}\left[6 + 0 + \frac{0.003 * 432 * 9.4 * 98}{2 * 10 * 0.65}\right]} = 4.08 \text{ ha/h}$$

باستخدام المعادلة رقم (١ , ١٢)، يمكن للقارئ التأكد من أن آلة الحصاد والدراس المتحركة بسرعة ٧٢ , ٤ كم/ س مع رأس قطع الذرة ذات ١٦ صفًا ويعمل في صفوف ذات ٧٥ سم مع كفاءة حقلية ٧٢٪ سوف يكون لها السعة المثلى . وقد يكون من الفائدة التعليمية إعادة عمل الأمثلة أرقام من (١ , ١٢) إلى (٣ , ١٢) لإدراك التغير في أنواع التكاليف كنتيجة لاستخدام آلة حصاد ودراس أكبر .

٢ , ٣ , ١٢ استبدال الآلات

من الطبيعي أن تصل جميع الآلات إلى نهاية عمرها الاقتصادي ويجب على المالك أن يقرر متى يستبدل كل آلة . ويوجد عدد من الأسباب التي تجعل المالك يقرر استبدال آلة معينة . فإصابة الآلة بشدة كنتيجة لحادث يكون أمراً فادحًا حيث قد يكون الاستبدال أقل تكلفة من إصلاح الإصابة . وقد تصبح الآلة تالفة (عديمة الفائدة) . وكما ذكر سابقًا ، تكون الآلة تالفة عندما تكون عديمة الإنتاجية وعندما لاتتوفر قطع الغيار ، أو عندما يمكن استبدالها بآلة أو طريقة أخرى سوف تعطي أرباحًا أكبر . عمومًا ، تتلف آلات الحصاد والدراس ، وآلات عمل البالات أو الآلات المعالجة الأخرى أسرع من الجرارت؛ بسبب أن الجرارات تحتاج فقط إلى مواد القدرة . ويجب تغيير الآلة عندما يصبح العطل المتوقع كبيراً بحيث لاتصبح الآلة مناسبة . ويمكن حدوث جزاءات اقتصادية ضخمة عندما يتأخر العمل الحقلي ويمكن للآلة غير المناسبة التسبب في التأخير . أخيراً يفضل استبدال الآلة عندما يقدر أن تكاليف الإصلاح سوف تبدأ في زيادة متوسط تكاليف الوحدة التراكمية فوق الحد الأدنى .

على سبيل المثال، يعرض الجدول رقم (١٢,٤) تكاليف الإصلاح والصيانة، الاستهلاك والفائدة على عمر الآلة ذات ٣٠٠٠ دولار والتي تستخدم في ١٠٠ هكتار سنويًا. وتصل تكاليف الوحدة التراكمية إلى الأقل عند نهاية السنة التاسعة من عمر الآلة في هذا المثال. ويفضل استبدال الآلة قبل السنة العاشرة مالم تستبدل قبل ذلك لأسباب أخرى.

جدول ١٢,٤ مثال لمتوسط وحدة التكاليف التراكمية.

نهاية العام	القيمة المتبقية	تكاليف الإصلاح والصيانة	الاستهلاك	سعر الفائدة	الاستهلاك المتراكم	سعر الفائدة التراكمي	تكاليف الإصلاح والصيانة المتراكمة	التكاليف الكلية المتراكمة (دولار)	المساحة المتراكمة (هكتار)	وحدة التكاليف المتراكمة دولار/هـ
١	٢٠٠٠	١٠	١٠٠٠	٢٠٠	١٠٠٠	٢٠٠	١٠	١٢١٠	١٠٠	١٢,١٠
٢	١٤٠٠	٥٠	٦٠٠	١٣٦	١٦٠٠	٣٣٦	٦٠	١٩٩٦	٢٠٠	٩,٩٨
٣	١٠٠٠	٧٠	٤٠٠	٩٦	٢٠٠٠	٤٣٢	١٣٠	٢٥٦٢	٣٠٠	٨,٥٤
٤	٧٠٠	١٠٠	٣٠٠	٦٨	٢٣٠٠	٥٠٠	٢٣٠	٣٠٣٠	٤٠٠	٧,٥٨
٥	٥٠٠	٢٠٠	٢٠٠	٤٨	٢٥٠٠	٥٤٨	٤٣٠	٣٤٧٨	٥٠٠	٦,٩٦
٦	٣٥٠	٣٠٠	١٥٠	٣٤	٢٦٥٠	٥٨٢	٧٣٠	٣٩٦٢	٦٠٠	٦,٦٠
٧	٢٢٥	٣٥٠	١٢٥	٢٣	٢٧٧٥	٦٠٥	١٠٨٠	٤٤٦٠	٧٠٠	٦,٣٧
٨	١٢٥	٤٥٠	١٠٠	١٤	٢٨٧٥	٦١٩	١٥٣٠	٥٠٢٤	٨٠٠	٦,٢٨
٩	١٠٠	٥٥٠	٢٥	٩	٢٩٠٠	٦٢٨	٢٠٨٠	٥٦٠٨	٩٠٠	٦,٢٣
١٠	٧٥	٦٠٠	٢٥	٧	٢٩٢٥	٦٣٥	٢٦٨٠	٦٢٤٠	١٠٠٠	٦,٢٤

ملاحظة: مواصفات الـ (ASAE)، التطبيقات الهندسية، والبيانات كلها غير رسمية وهي استشارية فقط. استخدامها من قبل أي شخص في الصناعة أو التجارة يكون طواعية. تفترض الـ ASAE عدم مسؤوليتها عن النتائج الناجمة عن تطبيق هذه المواصفات والتطبيقات الهندسية والبيانات. التوافق غير مضمون الانسجام مع القوانين التطبيقية، و القوانين واللوائح. المستخدمون مسؤولون عن حماية أنفسهم ضد احتمالات مخالفة براءة الاختراع.

تمارين على الفصل الثاني عشر

١٢,١ آلة حصاد ودراس ذاتية الحركة مركب عليها رأس قطع ذرة ذات ثمانية صفوف، ٧٥ سم لكل صف. (أ) ماهي أقصى سرعة يجب أن تعمل عليها آلة

الحصاد والدراس في ذرة إنتاجيتها ٤ ,٩ ميجاجم/ هـ إذا كانت السعة الحقلية النظرية للآلة ٢٨ ميجاجم/ س؟ (ب) ماهي السعة الحقلية النظرية للآلة، هـ/ س؟

٢ , ١٢ آلة حصاد ودراس ذاتية الحركة مركب عليها سكين قطع الحبوب طولها ٥ م. (أ) عند أي سرعة يجب أن تعمل الآلة لكي تستخدم سعة الفصل الكلية ٢٨ ميجاجم/ س في حصاد فول صويا إنتاجيته ٢,٧ ميجاجم/ هـ؟ (ب) باعتبار البيانات في الجدول رقم (١ ,١٢)، ماهي أقصى سرعة موصى بها لحصاد فول الصويا؟ (جـ) ماهي السعة النظرية لهذه الآلة بـ هـ/ س لحصاد فول الصويا؟ (د) هل السعة الحقلية النظرية محددة بسعة التجميع أو سعة الفصل للآلة؟

٣ , ١٢ تخطط شركة لتصميم مجموعة من آلات الحصاد والدراس ذاتية الحركة ذات مدى من السعات الحقلية. وسوف تصمم جميع الآلات لتعمل عند السرعة النمطية المدونة في الجدول رقم (١ ,١٢) وسوف تسوق رؤوس قطع الذرة ذات ٢، ٤، ٦، ٨، ١٠، ١٢ صفًا، والمسافة بين الصفوف ٧٥ سم وسعة فصل تناسب رؤوس قطع الذرة. (أ) إذا كانت الكفاءة الحقلية للآلة ذات الصفين ٧٠٪، احسب فواقد الوقت الكلية، $(\tau_a + \tau_h)$، والتي تحدث في حصاد هكتار واحد. (ب) بفرض أن هذه الفواقد في الوقت سوف تبقى بدون تغيير لآلات أكبر من سعة الصفين، احسب وارسم السعة الحقلية مع حجم رؤوس قطع الذرة. (جـ) وكفرضية أخرى، احسب وارسم الفواقد الكلية للوقت المسموح بها $(\tau_a + \tau_h)$ التي يمكن أن يسمح بها لكل هكتار إذا قدر لجميع الآلات أن يكون لها نفس الكفاءة الحقلية.

٤ , ١٢ كما جاء في التمرين رقم (٣ ,١٢)، ولكن سوف تصمم مجموعة من آلات الزراعة في صفوف. جميع الآلات الواردة سوف تعمل عند السرعة النمطية ٦,٤ كم/ س والكفاءة الحقلية لآلة الزراعة ذات الصفين ٦٠٪.

٥ , ١٢ (أ) بفرض أنه تم استخدام ١٠٠٪ من عرض الآلة، احسب وارسم فاقد الوقت الكلي المحتمل لجزء من وقت التشغيل النظري، أي، $((\tau_a + \tau_h) / \tau_t)$ مع الكفاءة الحقلية. (ب) اعد الجزء (أ) ولكن مع استخدام ٩٠٪ من عرض الآلة. ارسم كلاً من المنحنيين في شكل واحد. (جـ) باستخدام بيانات من الجدول رقم (١ ,١٢)، ارسم المنحنيات لتوضيح وقت الفقد المحتمل عند سعة حقلية تطبيقية

لحصاد البطاطس وحراثة الحقل بفرض استخدام ٩٠٪ من عرض العزاقة الحقلية.

٦ , ١٢ احسب وارسم تكاليف الملكية السنوية النوعية مع العمر الاقتصادي لعمر يتراوح من ١ إلى ٢٠ سنة. ارسم منحيين، واحداً لمعدل التضخم العام ٢٪ عندما يكون معدل الفائدة السائد ٧٪ وآخر لمعدل التضخم العام ٢٠٪ عند ' كون معدل الفائدة السائد ٢٥٪ افرض أن سعر الخردة ١٠٪ من سعر الشراء، بينما تقدر الضريبة، التأمين والتخزين بنسبة ٢٪ من سعر الشراء.

٧ , ١٢ كما جاء في التمرين رقم (٦ , ١٢)، ولكن احسب وارسم تكاليف الملكية السنوية النوعية مع معدل الفائدة الحقيقي لمعدلات فائدة تتراوح من صفر إلى ١٠٪. ارسم منحنيين، واحد لعمر اقتصادي بخمس سنوات وآخر لعمر عشر سنوات.

٨ , ٢ يستخدم جرار ذو قدرة عمود مأخذ القدرة ٩٠ كيلوواط لتنفيذ عمليات الحراثة والتي تحتاج ٧٥ كيلوواط معادلة لقدرة عمود مأخذ القدرة. والسعة الحقلية الفعلية ٢ هـ/ س. وتكاليف الوقود ٠,٣٥ دولار/ لتر وتكاليف الزيوت ٠,٠٥ دولار/ لتر. احسب: (أ) استهلاك الوقود النوعي، (ب) استهلاك الوقود (لتر/ س)، (جـ) تكاليف الوقود لكل هكتار، (د) استهلاك الزيوت (لتر/ س)، (هـ) تكاليف الوقود لكل هكتار.

٩ , ١٢ كما جاء في التمرين رقم (٨ , ١٢)، فيماعدا أن معدل القدرة للجرار كان ٨٠ كيلوواط.

١٠ , ١٢ كما جاء في التمرين رقم (٨ , ١٢)، فيما عدا أن معدل القدرة للجرار كان ١٢٠ كيلوواط.

١١ , ١٢ (أ) بفرض عدم وجود معدل تضخم (صفر)، احسب وارسم تكاليف الإصلاح والصيانة التراكمية كنسبة من سعر شراء الآلة لمحراث حفار. هذه التكاليف عديمة الوحدات ويراد رسمها مع ساعات الاستخدام التراكمية من صفر إلى العمر المقدر للمحراث، كما هو معطى في الجدول رقم (١ , ١٢). (ب) اعد الجزء (أ) ولكن مع معدل تضخم ١٠٪. ضع المنحنيين للصفر و١٠٪ تضخم في نفس الشكل.

١٢ , ١٢ اعد حل التمرين رقم (١١ , ١٢)، فيماعدا أن الجرار ثنائي الدفع.

١٣ , ١٢ اعد حل التمرين رقم (١١ , ١٢)، ولكن لآلة حصاد ودراس ذاتية الدفع.

١٤ , ١٢ آلة زراعة في صفوف ذات ١٢ صفًا يراد استخدامها في زراعة ٨٠ هكتاراً من فول الصويا مع مسافة ٧٥ بين الصفوف في أوائل يونيو في وسط إلينوي. الإنتاجية المتوقعة لمحصول فول الصويا ٢,٧ مجياجم/ هـ وسعر البيع المتوقع ٢٥٠ دولار/ ميجاجم. (أ) باستخدام السرعة الأمامية النمطية والكفاءة الحقلية النمطية لعملية الزراعة، انظر الجدول رقم (١ , ١٢)، احسب السعة الحقلية، (ب) تكاليف الوقت الأمثل بفرض أن المزارع يعمل عشر ساعات يوميًا ويريد ضمان ٩٠٪ من احتمالية عدد أيام العمل الجيدة اللازمة.

١٥ , ١٢ اعد حل التمرين رقم (١٤ , ١٢)، ولكن استخدم آلة زراعة ذات ستة صفوف.

١٦ , ١٢ اعد حل التمرين رقم (١٤ , ١٢)، ولكن استخدم آلة الزراعة لزراعة ٢٠٠ هكتار من فول الصويا.

١٧ , ١٢ يراد استخدام آلة زراعة في صفوف عادية لزراعة ٢٠٠ هكتار من فول الصويا بمسافة ٧٥ سم بين الصفوف في أوائل شهر مايو في وسط إلينوي. تقدر إنتاجية فول الصويا بحوالي٢,٧ ميجاجم/ هـ وسعر البيع المقدر ٢٥٠ دولار/ ميجاجم. يعمل المزارع ١٠ ساعات يوميًا. تُسحب آلة الزراعة بواسطة جرار قيمته ٦٠٠٠٠ دولار ويستخدم لفترة ٤٠٠ ساعة سنويا (يستخدم جزء من الوقت الكلي للزاراعة فقط) مع عمر اقتصادي ١٥ سنة. لكل من الجرار والآلة، افرض أن قيمة الخردة ١٠٪، معدل الفائدة ٥٪ و(k) تساوي ٢٪. والعمر الاقتصادي لآلة الزراعة ١٠ سنوات، وتكاليف العمالة ٦ دولارات/ س. وأسعار العرض لآلات الزراعة ذات الأحجام ٨، ١٢، ١٦ صف هي ٢١٢٥٣، ٣٣٥٧٠، ٥٨٢٨٤ دولاراً على الترتيب. احسب: (أ) تكاليف الملكية السنوية الكلية، (ب) تكاليف الملكية النوعية للجرار، (جـ) تكاليف الملكية النوعية السنوية، (د) دالة سعر الوحدة، (هـ) السعة الحقلية الفعلية المثلى لآلة الزراعة. افرض وجود ٣٠ سم من الرطوبة في منطقة الجذور وقت الزراعة و٩٠٪ من احتمالات أيام العمل الجيدة. (و) إذا عملت آلة الزراعة عند السرعة والسعة الحقلية النمطية المعطاة في الجدول رقم (١ , ١٢)،

اختر أفضل آلة زراعة متوفرة، أي، كم عدد الصفوف؟

١٢,١٨ كما جاء في التمرين رقم (١٢,١٧)، ولكن استخدمت آلة الزراعة لزراعة الذرة في ولاية أيوا في أوائل مايو. أيضًا، يوجد ٣٠ سم من الرطوبة المتوفرة في منطقة الجذور. وإنتاجية الذرة المقدرة ٩,٤ ميجاجم/ هـ وسعر البيع المقدر للذرة ٩٨ دولارًا/ ميجاجم.

١٢,١٩ افرض أن الفترة المتاحة لعمل الزراعة المعروضة في التمرين رقم (١٢,١٧) كانت عشرة أيام، ماهو حجم آلة الزراعة الذي سوف يختار لإتمام مثل هذه الجدولة؟

١٢,٢٠ اعد حل التمرين رقم (١٢,٤)، ولكن دع عدد ساعات العمل لكل يوم تتغير من ٦ إلى ١٦ ساعة. من النتائج، ارسم السعة المثلى مع ساعات العمل لكل يوم.

الملاحق

ملحق (أ)
براءات الاختراع المذكورة بـ (الفصل العاشر)

3,858,660 January 7, 1975. William F. Wadsworth. Feed Conveyor Apparatus.

3,896,612 July 29, 1975. Carl Manning McHugh, Byron Kenneth Webb and Clarence Elam Hood, Jr. Fruit Harvester.

3,964,245 June 22, 1976. Charles L. Hecht. Air Pickup System for Strawberry Pickers.

4,166,505 September 4, 1979. Frederick P. West. Method and Apparatus for Harvesting Green Peanuts.

4,185,696 January 29, 1980. Rodney B. Williams and Jerry A. Taylor. Row Crop Harvester with Adjustable Picking Heads.

4,251,983 February 24, 1981. Charles G. Burton. Grape Harvester with Cane Lifter.

4,364,222 December 21, 1982. Barry Ramacher. Nut Harvesting Machine.

4,409,782 October 18, 1983. Rod Westergaard, Lou Morton and Ken Zeiders. Multiple-Pattern Tree Shaking Mechanism.

4,416,334 November 22, 1983. Alain M. Bouillon. Potato Harvesting Apparatus.

4,464,888 August 14, 1984. Charles G. Burton. Collector Leaf Construction for Harvesting Machine.

4,519,191 May 28, 1985. Richard L. Ledebuhr and Clarence M. Hansen. Strawberry Harvester and Procedures for Growing and Harvesting of Such Fruit.

4,560,008 December 24, 1985. John Carruthers. Root Crop Harvester.

4,584,826 April 19, 1986. Thomas S. Bettencourt and Darryl G. Bettencourt. Tomato Harvester.

4,621,488 November 11, 1986. Gerald L. Claxton. Oscillatory Shaker Rail Harvester.

4,769,979 September 13, 1988. Jean-Camille Merant. Machine for Harvesting Fruit and Berries and the Like, from Fruit Trees and Bushes Planted in a Row.

4,776,156 October 11, 1988. Galen K. Brown, Henry A. Affeidt, Jr., Thomas A. Rech and Richard J. Welthmia. Variable Eccentricity Mass for Mechanical Shakers.

4,793,128 December 27, 1988. Sherman H. Creed. Horizontal Force Balanced Shaker and Method.

4,860,529 August 29, 1989. Donald L. Peterson. Shaking Mechanism for Fruit Harvesting.

4,934,461 June 19, 1990. Cecil J. Spears, Sr; Larry Spears and Cecil J. Spears, Jr. Peanut Digger and Vine.

4,975,016 December 4, 1990. Roger Pellman, Jose L. Mestoya, Antonio G. D'Emor, Marc Ronhart. Automated Machine for Detection and Grasping of Objects.

ملحق (ب)
الرموز التخطيطية لمخططات قدرة الموائع
(قائمة جزئية مأخوذة من المواصفة القياسية الأهلية الأمريكية ANS Y 32.10, 1966)

المضخات، المحركات، والأسطوانات	
مضخة أحادية، إزاحة ثابتة	Out / In
مضخة أحادية، إزاحة متغيرة	
محرك هيدروليكي، إزاحة ثابتة	In / Out
محرك هيدروليكي، إزاحة متغيرة	
محرك هيدروليكي، ثنائي الاتجاه	
أسطوانة، أحادية الفعل	
أسطوانة، مزدوجة الفعل	
متنوعات	
خزان، ذو تنفيس	
مركم، محمل زنبركيًا	
مركم، مشحون بالغاز	
مبرد (مبادل حراري)	
مرشح (مصفاة)	
نطاق الجزء (قد يحيط بمجموعة من الرموز لبيان وحدة تجميعية)	
اتجاه دوران عمود (السهم بالجانب القريب للعمود)	

الخطوط ووظائفها [مدلولاتها]	
خط تشغيل رئيس	
خط دليلي (للتحكم)	
خط صرف (تصريف)	
اتجاه السريان: هيدروليكي / هوائي	
خطوط تقاطع	
اتصال خطوط	
خط مرن	
خط ذو اختناق ثابت	
محطة (اختبار)، قياس، أو مأخذ القدرة	
خط إلى الخزان* - أعلى مستوى المائع - أسفل مستوى المائع	
مشعب تنفيس	
وحدة قابلة للضبط أو متغيرة (يمر السهم نحو الرمز على زاوية ٤٥°)	
وحدات معادلة للضغط (السهم يوازي الجانب القصير من الرمز)	
تأثير أو سبب درجة الحرارة	

* يمكن استخدام أي عدد من هذه الرموز في مخطط واحد لبيان نفس الخزان.

تابع: ملحق (ب)

المشغلات والتحكمات	
زنبرك	
يدوي (رمز عام: لايوجد نوع محدد)	
زر ضغط	
ذراع دفع – سحب	
بدال أو دواسة	
آلي	
محززة (يوضح الخط الرأسي أي حز تستخدم)	
معادل للضغط	
ملف لولبي، أحادي اللف	
محرك، عكسي الدوران	
ضغط دليلي، يُولد عن بعد	
ضغط دليلي، يُولد داخليًا	
تقسيم (توزيع) دليلي	

الصمامات (انظر الشكل رقم ٣,٤)	
صمام عدم رجوع	
تشغيل-إيقاف يدوي	
تنفيس ضغط، تشغيل مباشر (يوضح عددًا لانهائي الأوضاع، مغلق عادة، لمخرج أحادي)	
تقليل ضغط، تشغيل مباشر (يوضح عددًا لانهائي الأوضاع، مفتوح عادة، لمخرج أحادي)	
تحكم في السريان، قابل للضبط، غير معادل للضغط	
تحكم في السريان، قابل للضبط، معادل للضغط، مع خط رجوع	
اتجاهان (مخرجان)، وضعان	
ثلاثة اتجاهات (ثلاثة مخارج)، وضعان	
أربعة اتجاهات (أربعة مخارج)، وضعان	
أربعة اتجاهات (ثلاثة أوضاع)، مركز مغلق	
أربعة اتجاهات (ثلاثة أوضاع)، مخرجان، مركز مفتوح (مزدوج)	
قضبان أفقية توضح مقدرة الصمام لأوضاع لانهائية خلال المدى	
عام (أضف التقسيمات والمسارات الداخلية	

يمكن دمج الرموز الأساسية بطرق أخرى لتمثيل مكونات مختلفة. يمكن عكس اتجاه جميع الرموز ماعدا المراكم، والمشعبات المتنفسة، والخطوط إلى الخزانات. يجب رسم كل رمز داخل دائرة، لبيان الحالات العادية، إعادة التشغيل، أو حالات الحياد للمكون، إلا إذا اشتمل الرسم على عدة مخططات لبيان أوجه مختلفة لتشغيل الدائرة.

المراجع المختارة

الفصل الثاني

1. Baumeister, T. 1987. *Mark's Standard Handbook for Engineers.* New York: McGraw-Hill.
2. Goering, C. E. 1989. *Engine and Tractor Power*. St. Joseph, MI: ASAE.
3. Liljedahl, J. B., P. K. Turnquist, D. W. Smith and M. Hoki. 1989. *Tractors and their Power Units*, 4th Ed. New York, NY: Van Nostrand Reinhold.
4. NFPA. 1990. *National electrical code*. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
5. Obert, E. F. 1973. *Internal Combustion Engines and Air Pollution.* New York: Harper & Row.
6. Sprick, W. L. and T. H. Becker. 1985. *The application and installation of diesel engines in agricultural equipment.* ASAE Distinguished Lecture Series. Lecture No. 11. St. Joseph, MI: ASAE.
7. Surbrook, T. C. and R. C. Mullin. 1985. *Agricultural Electrification.* West Chicago, IL: South-Western Publishing Co.

الفصل الثالث

1. *Agricultural V-Belt Drive Design Manual.* 1976. Denver, CO: Gates Rubber Co.
2. *Chains for Power Transmission and Material Handling.* Rockville, MD: American Chain Association.
3. Kepner, R. A., R. Bainer and E. L. Barger. 1978. *Principles of Farm Machinery*, 3rd Ed. Westport, CT: AVI Publishing Co.
4. Merritt, H. E. 1976. *Hydraulic Control Systems.* New York: John Wiley & Sons, Inc.

الفصل الرابع

1. ASAE Standards, 37th Ed. 1990. St. Joseph, MI: ASAE.
2. Ayers, P. D. and J. V. Perumpheral. 1982. *Moisture and density effect on cone*

index. Transactions of the ASAE 25(2): 1169-1172.

3. Brixius, W. W. 1987. *Traction prediction equations for bias-ply tires*. ASAE Paper No. 87-1622. St. Joseph, MI: ASAE.
4. Brixius, W. W. and R. D. Wismer. 1978. *The role of slip in traction*. ASAE Paper No. 78-1538. St. Joseph, MI: ASAE.
5. Ellis, R. W. 1977. *Agricultural tire design requirements and selection considerations*. ASAE Distinguished Lecture No. 3. St. Joseph, MI: ASAE.
6. Liljedahl, J. B., P. K. Turnquist, D. W. Smith and M. Hoki, 1989. *Tractors and their Power Units*, 4th Ed. New York, NY: Van Nostrand Reinhold.
7. Vomicil, J. A., E. R. Fountain and R. J. Reginato. 1958. *The influence of speed and drawbar load on the compacting effect of wheeled tractors*. Soil Science Soc. of American Proc. 22:178-180.
8. Wismer, R. D. and H. J. Luth. 1972. *Off-rood traction prediction for wheeled vehicles*. ASAE Paper No. 72-619. St. Joseph, MI: ASAE.
9. Zoz, F. M. 1987. *Predicting tractor field performance (updated)*.ASAE Paper No. 87-1623. St. Joseph, MI: ASAE.

الفصل الخامس

1. ASAE Standards, 29th Ed. 1982. S414.1. *Terminology and definitions for agricultural tillage implements*. St. Joseph, MI: ASAE.
2. Bernachi, H., J. Haman and Cz. Kanafojski. 1972. *Agricultural Machines, Theory and Construction*, Vol. I. Published for USDA and NSF by Foreign Cooperation Center of the Central Institute for Scientific, Technical and Economic Information, Warsaw, Poland.
3. Clyde, A. W. 1954. *Pitfalls in applying the science of mechanics to tractors and implements*. Agricultural Engineering 35(Feb): 79-83.
4. _______. 1994. *Technical features of tillage tools*. Pennsylvania Agr. Expt. Sta. Bull. 465 (part 2).
5. _______. 1939. *Improvements of disk tools*. Agricultural Engineering 20(Jone): 215-221.
6. Cooper, A. W. and W. F. McCreery. 1961. *Plastic surfaces for tillage tools*. ASAE Paper No. 61-649. St. Joseph, MI: ASAE.
7. CRC Handbook in Agriculture. 1988. Volume I: *Crop Production Engineering*. Boca Raton, FL: CRC Press.
8. Frevert, R. K. 1940. *Mechanics of tillage*. Unpublished M. S. thesis, Iowa State

University, Ames.

9. Furlong, D. B. 1956. *Rotary tiller performance tests on existing tines.* Tech. Rept. 1049. Central Eng. Dept., FMC Corp. San Jose, CA.
10. Getzlaff, G. E. 1953. *Comparative studies on the forces acting on standard plow bodies.* Grundl. Landtech., Heft 5:16-35 (NIAE transl. 6).
11. Gill, W. R. and G. E. VandenBerg. 1968. *Soil Dynamics in Tillage and Traction.* Agricultural Handbook No. 316. USDA-ARS.
12. Gullacher, D. E. and W. E. Coates. 1980. *Effects of cultivator sweep pitch on tillage forces.* ASAE Paper No. 80-1567. St. Joseph, MI: ASAE.
13. Kepner, R. A., R. Bainer and E. L. Barger. 1978. *Principles of Farm Machinery,* 3rd Ed. Westport, CT: AVI Publishing Co., Inc.
14. Klenin, N. I., I. F. Popov and V. A. Sakun. 1970. *Agricultural Machines.* Moscow: Kolos Publishers (Translated from Russian and published for USDA and NSF by Amerind Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi, 1985).
15. Marling, R. W. 1963. *Soil force analysis as applied to tillage equipment.* ASAE Paper No. 63-149. St. Joseph, MI: ASAE.
16. McKibben, E. G. and I. F. Reed. 1952. *The influence of speed on the performance characteristics of implements.* (Presented at SAE National Tractor Meeting. Cited in Kepner et al., 1978).
17. Nichols, M. L., F. Reed and C. A. Reaves. 1958. *Soil reaction: To plow share design.* Agricultural Engineering 39:336- 339.
18. Randolf, J. W. and I. F. Reed. 1938. *Testing of tillage tools: II. Effect of several factors on the reactions of fourteen-inch moldboard plow.* Agricultural Engineering 19(June): 29-33.
19. Rowe, R. J. and K. K. Barnes. 1961. *Influence of speed on elements of draft of a tillage tool.* Transactions of the ASAE 4(1): 55-57.
20. Soehne, W. 1956. *Some principles of soil mechanics as applied to Agricultural Engineering.* Grundlagen der Landtechnik 7:11-27 (NIAE Translation 53).
21. Sommer, M. S., S. H. Chen and J. F. Bierl. 1983. *Disk blade performance.* ASAE Paper No. 83-1537. St. Joseph, MI: ASAE.
22. Wu, T. H. 1966. *Soil Mechanics.* Boston: Allyn & Bacon, Inc.

الفصل السادس

1. Adekoya, L. O. and W. F. Buchele. 1987. *A precision punch planter for use in tilled and untilled soils.* Journal of Agr. Engr. Research 37: 171-178.

2. *ASAE Standards*, 39th Ed. 1992. St. Joseph, MI: ASAE.
3. Anonymous. 1968. *Finger pickup unit replaces plate in corn planter.* Agricultural Engineering 49(9): 536.
4. Anonymous. 1971. *IH develops air force planter.* Agricultural Engineering 52(4): 182.
5. Brewer, H. L. 1988. *Experimental automatic feeder for seedling transplanter.* Applied Engineering in Agriculture 4(1): 24-29.
6. Cunningham, F. M. 1963. *Performance characteristics of bulk spreaders for granular fertilizer.* Transactions of the ASAE 6(2): 108-114.
7. Davis, J. B. and C. E. Rice. 1973. *Distribution of granular fertilizer and wheat by centrifugal distributors.* Transactions of the ASAE 16(5): 867-868.
8. Eddington, D. L. and L. N. Shaw. 1987. *Singulator for fluid planting of sprouted seeds.* Transactions of the ASAE 30(6): 1569-1574.
9. Eisener, F. 1930. *Das widerstands problem.* Proceedings of the third International Congress of Applied Mechanics, 23-42.
10. Futral, J. G. and B. P. Verma. 1973. *A powered furrow opener for precise seed depths.* ASAE Paper No. 73-1543. St. Joseph, MI: ASAE.
11. Giannini, G. R., W. J. Chancellor and R. E. Garret. 1967. *Precision planter using vacuum for seed pickup.* Transactions of the ASAE 10(5): 607-610, 614.
12. Glover, J. W. and J. Baird, 1973. *The performance of spinner-type fertilizer spreaders.* Transactions of the ASAE 16(1): 48-51.
13. Goering, C. E., L. E. Bode and M. R. Geohardt. 1972. *Mathematical modeling of spray droplet deceleration and evaporation.* Transactions of the ASAE 15(2): 220-225.
14. Goyal, M. R., L. O. Drew, G. L. Nelson and T. J. Logan. 1980. *Soybean seedling emergence force.* Transactions of the ASAE 23(4): 836-839.
15. Hawk, A. L., D. B. Brooker and J. J. Cassidy. 1966. *Aerodynamic characteristics of selected farm grains.* Transactions of the ASAE 9(1): 48-51.
16. ISO. 1984. *Sowing equipment - Test methods.* ISO Standard 7256. Paris, France: International Standards Organization.
17. Mennel, R. M. and A. R. Reece. 1963. *The theory of the centrifugal distributor, part III, Particle trajectories.* J. of Agr. Engng. Res. 43(1): 78-84.
18. Morrison, J. E., Jr. and T. J. Gerik. 1985. *Planter depth control: I. Prediction and projected effect on crop emergence.* Transactions of the ASAE 28(5): 1415-1418.
19. Moysey, E. B., E. W. Lambert and Z. Wang. 1988. *Flow rates of grains and oilseeds through sharp-edged orifices.* Transactions of the ASAE 31(1): 226-231.

20. Munilla, R. D. and L. N. Shaw. 1987. *A high-speed dibbling transplanter.* Transactions of the ASAE 30(4): 904-908.
21. PAMI. 1978. *Evaluation report on John Deere 9350 grain and fertilizer drill.* Humboldt, Saskatchewan, Canada: Prairie Agricultural Machinery Institute.
22. Phene, C. J., D. N. Baker, J. R. Lambert, J. E. Parsons and J. M. KcKinion. 1978. *SPAR - A soil-plant-atmosphere research system.* Transactions of the ASAE 21(5): 924-930.
23. Pitt, R. E., G. S. Farmer and L. P. Walker. 1982. *Approximating equations for rotary distributor spreader patterns.* Transactions of the ASAE 25(6): 1544-1552.
24. Richardson, P. and M. J. O'Dogherty. 1972. *Theoretical analysis of the seed spacing distribution produced by a fluid drill.* National Institute of Agricultural Engineering Report No. 4, NIAE, Silsoe, England.
25. Shaw, L. N. 1985. *Apparatus for metering and dispensing seeds.* U. S. patent No. 4,703,868.
26. Shaw, L. N. and K. H. Kromer. 1987. *Revolving spade planter soil opener.* ASAE Paper No. 87-019. St. Joseph, MI: ASAE.
27. Stapleton, H. N. and R. P. Meyers. 1971. *Modeling subsystems for cotton - The cotton plant simulation.* Transactions of the ASAE 14(5): 950-953.
28. Suggs, C. W., T. N. Thomas, D. L. Eddington, H. B. Peel, T. R. Seaboch and J. W. Gore. 1987. *Self-feeding transplanter for tobacco and vegetable crops.* Applied Engineering in Agriculture 3(2): 148-151.
29. Vaughn, D. H. and H. D. Bowen. 1977. *Simulation of cotton radicle elongation during emergence* . Transactions of the ASAE 20(5): 810-812, 816.
30. Wilkins, D. E., P. A. Adrian and W. J. Conley. 1979. *Punch planting of vegetable seeds - A progress report.* Transactions of the ASAE 22(4): 746-749.

الفصل السابع

1. Bernacki, H., J. Haman and Cz. Kanafojski. 1972. *Agricultural Machines, Theory and Construction,* Vol. 1. Published for the U.S. Department of Agriculture and N.S.F., Washington, D.C., by the Scientific Publications Foreign Cooperation Center of the Central Institute for Scientific, Technical and Economic Information, Warsaw, Poland.
2. Bode, L. E. and B. J. Butler. 1981. *The three d's of droplet size: Diameter, drift., and deposit.* ASAE Paper No. AA-81-004. St. Joseph, MI: ASAE.
3. Bode, L. E. and S. L. Pearson. 1985. *Equipment and calibration: Granular*

applicators. Circular No. 1240. Cooperative Extension Service, College of Agriculture, University of Illinois, Urban.

4. Bode, L. E. and B. J. Butler. 1981. *Equipment and calibration: Low-pressure sprayers*. Circular No. 1192. Cooperative Extension Service, College of Agriculture, University of Illinois, Urban.
5. Crowther, A. J. 1958. *The distribution of particles by a spinning disc*. J. Agric. Engng. Res. 3: 288-291.
6. Cunningham, F. M. 1963. *Performance characteristics of bulk spreaders for granular fertilizers*. Transactions of the ASAE 6(2): 108-114.
7. Deysson, J. Y. and J. Karian. 1978. *Approximate sizing of single fluid and pneumatic atomizers*. 1st International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Tokyo, Japan.
8. Dombrowski, N. and W. R. Johns. 1963. *The aerodynamic instability and disintegration of viscous liquid sheets*. Chemical Engineering Science 18: 203-214.
9. Dorman, R. G. 1952. *The atomization of liquid in flat spray*. British Journal of Applied Physics 3: 189-192.
10. Ford, R. E. and C. G. L. Furmidge. 1967. *The Formation of drops from viscous Newtonion liquid sprayed through fan-jet nozzles*. Brit. J. Appl. Phys. 8: 335-384.
11. French, O. C. 1942. *Spraying equipment for best control*. California Ag. Expt. Sta. Bull. 666. (Cited in Kepner et al., 1978).
12. Frazer, R. P., N. Dombrowski and J. H. Routley. 1963. *The filming of liquids by spinning cups*. Chemical Engineering Science 18: 323-337.
13. Frost, A. R. 1981. *Rotary atomization in the ligament formation mode*. J. Agric. Engng. Res. 26: 63-78.
14. Goering, C. E., L. E. Bode and D. B. Smith. 1978. *Characterization of spray droplet size distributions*. 1st. International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Tokyo, Japan.
15. Hughes, H. A. *Fundamentals of Machine Operations - Crop Chemicals*. Deere & Co. Moline, IL.
16. Inns, F. M. and A. R. Reece. 1962. *The theory of the centrifugal distributor II: Motion on the disc, off center feed*. J. of Agric. Engng. Res. 7(4): 345-353.
17. Keith, F. W. and A. N. Hixon. 1955. *Ind. Eng. Chem.* 47: 258-267.
18. Kepner, R. A., R. Bainer and E. L. Barger. 1978. *Principles of Farm Machinery*, 3rd Ed. Westport, CT: AVI Publishing Co., Inc.
19. Marshall, W. R. 1954. *Atomization and Spray Drying*. Chem. Eng. Prog.

Monogr. Ser. No. 2.

20. Matsumoto, S. and Y. Takashima. 1978. *Design criteria of hollow cone nozzle and predication of drop size distribution.* 1st. International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Tokyo, Japan.

21. Mennel, R. M. and A. R. Reece. 1963. *The theory of the centrifugal distributor III: particle trajectories.* J. of Agric. Engng. Res. 8(1): 78-84.

22. Patterson, D. E. and A. R. Reece. 1962. *The theory of the centrifugal distributor I: motion on the disc, near center feed.* J. Agric. Engng. Res. 7(3): 232-240.

23. PAMI 1985. Evaluation Report 407. Humboldt, Saskatchewan, Canada.

24. ______. Evaluation Report 457. Humboldt, Saskatchewan, Canada.

25. Ritter, D. W., C. L. Griffis and E. J. Mathews. 1980. *Computer simulation of rotary spreader distribution patterns.* ASAE Paper No. 80-1504. St. Joseph: ASAE.

26. Smith, H. P. 1964. *Farm Machinery and Equipment,* 5th Ed. New York: McGraw-Hill Book Co.

27. Spraying Systems Co. 1991. Product Catalogue 40. Wheaton, IL.

28. VanEe, G. and R. Ledebuhr. 1987. *Spray unit for controlled droplet atomization.* U.S. Patent No. 4,659.013.

29. Yates, W. E. and N. B. Akesson. 1973. *Reducing pesticide chemical drift.* In Pesticide Formulations: Physical Chemical Principles, ed. W. VanValkenburg. New York: Mercel Dekker. (Cited in Kepner et al., 1978).

30. ______. 1963. *Hydraulic agitation requirements for pesticide material.* Transactions of the ASAE 6(3): 202-205, 208.

الفصل الثامن

1. ASAE Standards 39th Ed. 1992a. S229. *Baling wire for automatic balers.* St. Joseph, MI: ASAE.

2. ______. 1992b. S315. *Twin for automatic balers.* St. Joseph, MI: ASAE.

3. ______. 1992c. S328. *Dimensions for compatible operation of forage harvesters, forage wagons and forage blowers.* St. Joseph, MI: ASAE.

4. ______. 1992d. S472. *Terminology for forage harvesters and forage harvesting.* St. Joseph, MI: ASAE.

5. ______. 1992e. S424. *Method of determining and expressing particle size of chopped forage materials by screening.* St. Joseph, MI: ASAE.

6. ______. 1992f. D251. *Friction coefficients of chopped forages.* St. Joseph, MI:

ASAE.

7. ______. 1992.X498. *Terminology for round balers*. St. Joseph, MI: ASAE.

8. Berge, O. I. 1951. *Design and performance of the flywheel-type forage-harvester cutterhead*. Agricultural Engineering 32(2): 85-91.

9. Blevins, F. Z. and H. J. Hansen. 1956. *Analysis of forage harvester design*. Agricultural Engineering 37(1): 21-26, 29.

10. Bonner, J. and A. W. Galston. 1952. *Principles of Plant Physiology*. W. H. Freeman.

11. Bockhop, C. W. and K. K. Barnes. 1955. *Power distribution and requirements of a flail-type forage harvester*. Agricultural Engineering 36(7): 453-457.

12. Burrough, D. E. and J. A. Graham. 1954. *Power characteristics of a plunger-type forage baler*. Agricultural Engineering 35(4): 229-232.

13. Elfes, L. E. 1954. *Design and development of a high-speed mower*. Agricultural Engineering 35(3): 147-153.

14. Freeland, R. S. and B. L. Bledsoe. 1988. *Energy required to form large round bales effect of operational procedure and baler chamber type*. Transactions of the ASAE 31(1): 63-67.

15. Harbage, R. P. and R. V. Morr. 1962. *Development and design of a ten-foot mower*. Agricultural Engineering 43(4): 208.

16. Ige, M. T. and M. F. Finner. 1975. *Effects and interactions between factors affecting the shearing characteristics of forage harvesters*. Transactions of the ASAE 18(6): 1011-1016.

17. Kepner, R. A. 1952. *Analysis of the cutting action of a mower*. Agricultural Engineering 33(11): 693-697, 704.

18. Koegel, R. G., R. J. Straub and R. P. Walgenbach. 1985. *Quantification of mechanical losses in forage harvesting*. Transactions of the ASAE 28(4): 1047-1051.

19. Keogel, R. G., K. J. Shinners, F. J. Fronczak and R. J. Straub. 1988. *Prototype for production of fast drying forage mats*. Applied Engineering in Agriculture 4(2): 126-129.

20. NIAE, 1965. Report No. 445 of the National Institute of Agricultural Engineering, Silsoe, England.

21. O'Dogherty, M. J. 1982. *A review of research on forage chopping*. J. of Agr. Engng. Res. 27: 267-289.

22. Persson, S. 1987. *Mechanics of Cutting Plant Material*. St. Joseph, MI: ASAE.

23. Pitt, R. E. 1990. *Silage and hay preservation*. NRAES Publication No. 5.

24. Richey, C. B. 1958. *Discussion on "energy requirements for cutting forage"*.

Agricultural Engineering 39(10): 636-637.

25.Rotz, C. A. and S. M. Abrams. 1988. *Losses and quality changes during alfalfa hay harvest and storage*. Transactions of the ASAE 31(2): 350-355.

26.Rotz, C. A.. J. R. Black, D. R. Mertens and D. R. Buckmaster. 1989. DAFOSYM: *A model of the dairy forage system*. Journal of Production Agriculture 2(1): 83-91.

27.Rotz, C. A. and Y. Chen. 1985. *Alfalfa drying model for the field environment*. Transactions of the ASAE 28(5): 1686-1691.

28.Rotz, C. A. K. G. Kogel, K. J. Shinners and R. J. Straub. 1990. *Economics of maceration and mat drying of alfalfa on dairy farms*. Applied Engineering in Agriculture 6(3): 248-256.

29.Rotz, C. A. and D. J. Sprott. 1984. *Drying rates, losses and fuel requirements for mowing and conditioning alfalfa*. Transactions of the ASAE 27(3): 715-720.

30.Shinners, K. J., G. P. Barrington, R. J. Straub and R, G. Koegel. 1985. *Forming mats from macerated alfalfa to increase drying rates*. Transactions of the ASAE 29(2): 715-720.

31.Wieneke, F. 1972. *Verfahrenstechnik der halmfutterproduktion (methods for forage production)*. F. Wiekneke, publisher, Gottingen, Germany.

الفصل التاسع

1. Arnold, R. E. 1964. *Experiments with rasp bar threshing*. J. of Agr. Engng. Res. (9): 99-134.
2. Berry, P. E. 1958. *Research on oscillating conveyors*. J. of Agr. Res. 3(3): 249-259.
3. Bottinger, S. and H. D. Kutzbach. 1987. *Performance characteristics of a cleaning unit under various crop conditions*. ASAE Paper No. 87-1512. St. Joseph, MI: ASAE.
4. Byg, D. M. and G. E. Hall. 1968. *Corn losses and kernel damage in field shelling of corn*. Transactions of the ASAE 11(2): 164-166.
5. Cooper, G. F. 1971. *Cylinder/concave performance from laboratory tests*. ASAE Paper No. 71-625. St. Joseph, MI: ASAE.
6. German, R. F. and J. H. A. Lee. 1969. *Grain separation on an oscillating sieve as affected by air volume and frequency*. Transactions of the ASAE 12(2): 883-885.
7. Gregory. J. M. and C. B. Fedler. 1987. *Mathematical relationship predicting*

grain separation in combines. Transactions of the ASAE 30(6): 1600-1604.

8. Hill, L. G. and G. E. Frehlich. 1985. *Effect of reducing MOG/G on combine performance*. ASAE Paper No. 85-1577. St. Joseph, MI: ASAE.
9. Huynh, V. M. and T. E. Powell. 1978. *Cleaning shoe performance prediction*. ASAE Paper No. 78-1565 St. Joseph, MI: ASAE.
10. Huynh, V. M. and T. Powell and J. N. Siddall. 1982. *Threshing and separating process - A mathematical model*. Transactions of the ASAE 25(1): 65-73.
11. Kepner, R. A., R. Bainer and E. L. Barger. 1978. *Principles of Farm Machinery*, 3rd Ed. Westport, CT: AVI Publishing Co., Inc.
12. Lee, J. H. and R. G. Winfield. 1969. *Influence of oscillating frequency on separation of wheat on a sieve in an air stream*. Transactions of the ASAE 12(6): 886-888.
13. Long, D. J., M. Y. Hamdy and W. H. Johnson. 1969. *Centrifugal force and wheat separation*. Agricultural Engineering 50(10): 578-580.
14. Nyborg, E. O., H. F. McColly and R. T. Hinkle. 1969. *Grain-combine loss characteristics*. Transactions of the ASAE 12(6): 727-732.
15. Reed, W. B., G. C. Zoerb and F. W. Bigsby. 1974. *A laboratory study of grain-straw separation*. Transactions of the ASAE 17(3): 452-460.
16. Rotz, C. A. and H. A. Muhtar. 1991. *Rotary power requirements for agricultural equipment*. ASAE Paper No. 91-1550. St. Joseph, MI: ASAE.
17. Rumble, D. W. and J. H. A. Lee. 1970. *Aerodynamic separation in a combine shoe*. Transactions of the ASAE 13(1): 6-8.
18. Srivastava, A. K. 1972. *Grain straw separation in a centrifugal force field*. Unpubl. Ph. D. diss., The Ohio State University, Columbus, OH.
19. Srivastava, A. K., W. T. Mahoney and N. L. West. 1990. *The effect of crop properties on combine performance*. Transactions of the ASAE 33(1): 63-72.
20. Waelti, H. and W. F. Buchele. 1969. *Factors affecting corn kernel damage in combine cylinders*. Transactions of the ASAE 12(1): 55-59.
21. Wang, G., G. C. Zoerb and F. W. Bigsby. 1987. *A new concept in combine separation analysis*. Transactions of the ASAE 30(4): 899-903.
22. Wilkinson, R. L. and O. A. Braunbeck. 1977. *Elements of Agricultural Machinery*, Vol. 2. Rome: FAO.

الفصل العاشر

1. Adrian, P. A. and R. B. Fridley. 1965. *Dynamics and design criteria of inertial-type tree shakers.* Transactions of the ASAE 8(1): 12-14.
2. Ag. Eng. 88 Book of Abstracts. 1988. In Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering. Paris, France.
3. ASAE. *Fruit, nut and vegetable harvesting mechanization,* Proceedings of the International Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Harvesting Mechanization. St. Joseph, MI: ASAE.
4. ASAE Standards, 40th Ed. 1993. S337.1. *Agricultural pallet bins.* St. Joseph, MI: ASAE.
5. Bilanski, W. K., S. H. Collins and P. Chen. 1962. *Aerodynamics properties of seed grains.* Agricultural Engineering 63(6): 216-219.
6. Bower, D. R. and R. P. Rohrbach. 1976. *Application of vibrational sorting to blueberry firmness separation.* Transactions of the ASAE 19(1): 185-191.
7. Cargill, B. F. and G. E. Rossmiller, eds. 1969. *Fruit and vegetable harvest mechanization, Technological implications.* E. Lansing, MI: Michigan State Univ., Rural Manpower Center.
8. DeBaerdemaeker, J. and L. J. Segerlind. 1974. *Aerodynamic properties of strawberries.* Transactions of the ASAE 17(2): 729-736.
9. Delwiche, M. J., N. Singh, H. Arevalo and J. Mehlschau. 1991. *A second generation fruit firmness sorter.* ASAE Paper No. 91-6042. St. Joseph, MI: ASAE.
10. Glass, S. W., III and R. P. Rohrbach. 1980. *Driving point mechanical impedance of blueberries.* Transactions of the ASAE 23(2): 298-302.
11. Goldsmith, W. 1960. *Impact, The Theory and Physical Behavior of Colliding Bodies.* London: Edward Arnold Publishing, Ltd.
12. Hightower, J. 1972. *Hard Tomatoes Hard Times.* Cambridge, MA: Schenkman Publishing Co.
13. Meredith, F. I., R. G. Leffler and C. E. Lyon. 1988. *Detection of firmness in peaches by impact force response.* ASAE Paper No. 88-6570. St. Joseph, MI: ASAE.
14. Mohsenin, N. N. 1970. *Physical Properties of Plant and Animal Materials.* New York: Gordon and Breach Science Publishers.
15. O'Brien, M., B. F. Cargill and R. B. Fridley. 1993. *Principles & Practices for Harvesting Fruits and Nuts.* Westport, CT: AVI Publishing Co. Inc.
16. Persson, S. 1987. *Mechanics of Cutting Plant Material.* St. Joseph, MI: ASAE.

17. Ruff, J. H., R. P. Rohrbach. and R. G. Holmes. 1980. *Analysis of the air-suspension stem-vibration strawberry harvesting concept.* Transactions of the ASAE 23(2): 288-297.

18. Soule, H. M., Jr. 1970. *Investigations of some aerodynamic properties of lowbush blueberries.* Transactions of the ASAE 13(1): 114-117.

19. Tsatsarelis, C. A. 1987. *Vibratory olive harvesting: The response of the fruit-stem system to fruit removing actions.* J. Agric. Eng. Res. (38): 77-90.

الفصل الحادي عشر

(نواقل بريمية)

1. Brusewitz, G. H. and S. P. E. Persson. 1969. *Parametric study of factors influencing screw-conveyor throughput and power requirement.* Transactions of the ASAE 22(1): 51-59.

2. McFate, K. L. and R. M. George. 1971. *Power capacity relationships of nominal 8-inch screw conveyor when handling shelled corn.* Transactions of the ASAE 24(1): 121-126.

3. Millier, W. F. 1959. *Bucket elevators, auger elevators for handling free-flowing materials.* Agricultural Engineering (Sept).

4. Peart, R. M., B. A. McKenzie and F. L. Herum. 1967. *Dimensional standard and performance-test procedures for screw conveyors.* Transactions of the ASAE 10(5): 667-669.

5. Regan, W. M. and S. M. Handerson. 1959. *Performance characteristics of inclined screw conveyors.* Agricultural Engineering. (Aug).

6. Rehkugler, G. E. and L. L. Boyd. 1962. *Dimensional analysis of auger conveyor operation.* Transactions of the ASAE 12(1): 98-102.

7. Stevens, G. N. 1962. *Performance test on experimental auger conveyors.* J. of Agr. Engr. Res. 7(1): 47-60.

(نواقل بضغط الهواء)

8. ASAE Standards, D273 St. Joseph, MI: ASAE.

9. ASHRAE. *Handbook of Fundamentals.* New York: ASHRAE.

10. Cornish, G. K. and L. F. Charity. 1966. *Pressure drop in elbows of a pneumatic conveying system.* Transactions of the ASAE 9(1): 29-31.

11. Crane, J. W. and W. M. Carleton. 1957. *Predicting pressure drop in pneumatic conveying of grains*. Agricultural Engineering.

12. *Grain Drying, Handling, and storage Handbook*. 1987. Ames, IA: Iowa State University, Midwest plan Service.

13. Hellevang, K. J. 1985. *Pneumatic Grain Dryers*. Report No. 13AENG 2-3. Fargo, ND: North Dakota State University, Cooperatine Extension Service.

14. Kraus, M. N. 1986. *Pneumatic conveying systems*. Chemical Engineering (Oct. 13).

15. Marcus, R. D., L. S. Leung, G. E. Klinzing and F. Rìzk. 1990. *Pneumatic Conveying of Solids*. London: Chapman & Hall.

16. Noyes, R. T. and W. E. Pfieffer. 1985. *Design procedure for pneumatic converors in agriculture*. ASAE Paper No. 85-3507. St. Joseph, MI: ASAE.

(روافع ذات قواديس)

17. Miller, W. F. 1958. *Bucket elevators, auger conveyors of handling free flowing materials*. Agricultural Engineering. (Sept.).

(نافخات علف)

18. Belvins, F. Z. and H. J. Hansen. 1956. *Analysis of forage harvester design*. Agricultural Engineering (37): 21-26, 29.

19. Chancellor, W. J. 1960. *Relation between air and solid particles moving upward in a vertical pipe*. Agricultural Engineering (41): 168-171.

20. Chancellor, W. J. 1960. *Influence of particle movement on energy losses in an impeller blower*. Agricultural Engineering (41): 92-94.

21. Kepner, R. A., R. Bainer and E. L. Barger. 1978. *Principles of Farm Machinery*. 3rd Ed. Westport, CT: AVI Publishing Co.

22. McLeod, H.E. and K. K. Barnes. 1958. *Effect of paddle tip clearance on forage blower performance*. Agricultural Engineering (Aug).

23. Pettingill, D.H. and W. F. Millier. 1968. *The effect of certain design changes on the efficiency of a forage blower*. Transactions of the ASAE 11(3): 403-406, 408.

24. Raney, J. P. and J. B. Liljedahl. 1957. *Impeller blade shape affects forage blower performance*. Agricultural Engineering (Oct.).

25. Totten, D. S. and W. F. Millier. 1966. *Energy and particle path analysis: Forage blower and vertical pipe*. Transactions of the ASAE 9(5): 629-636, 640.

الفصل الثاني عشر

1. ASAE Standards. 39th Ed. 1992. St. Joseph, MI: ASAE.
2. Bartholomew, R. B. 1981. *Farm machinery costs under inflation*. Transactior the ASAE 24(4): 843-845.

3. Bowers, W. 1987. *Fundamentals of Machine Operation - Machin Management*. Moline, IL: Deere & Co.
4. Bowers, W. and D. R. Hunt. 1970. *Application of mathematical formula repair cost data*. Transactions of the ASAE 13(6): 806-809.
5. Burrows, W. C. and J. C. Siemens. 1974. *Determination of optimum machi for corn-soybean farms*. Transactions of the ASAE 17(6): 1130-1135.
6. Fairbanks, G. E., G. H. Larson and D. S. Chung. 1971. *Cost of using f machinery*. Transactions of the ASAE 14(1): 98-101.
7. Frisby, J. C. and C. W. Bockhop. 1968. *Weather and economics determine c production machinery systems*. Transactions of the ASAE 11(1): 61-64.
8. Goa, H. W. and D. R. Hunt. 1985. *Optimim combine fleet selection power-based models*. Transactions of the ASAE 28(2): 364-368.
9. Hunt D. H. 1983. *Farm Power and Machinery Management*. 8th ED. Ames, Iowa State Universuty Press.
10. Mayfild. W. G., G. S. Hines and L. Roberts. 1981. *A new method of estima farm machinery costs*. Transactions of the ASAE 24(6): 1446-1448.
11. Moint, F. P. 1924. *Farm machinery lowers production costs*. Agricult Engineering 5(2) :31.
12. McKibben. E. G. 1930. *Some fundamental factors determining the effe capacity of field machines*. Agricultural Engineering 11(2): 55-57.
13. McKibben, E. G. and P. L. Dressel. 1943. *Over-all performance of se combinations of machines as affected by the reliability of individual u* Agricultural Engineering 24(4): 121-122.
14. Renoll, E. 1975. *Field machine index.use and application*. Transactions ot ASAE 18(3): 493-496.
15. Rotz, C. A., H. A. Muhtar and J. R. Black. 1983. *A multiple crop proces machinery selection algorithm*. Transactions of the ASAE 26(6): 1644-1649.
16. Siemens, J. C., K. Hamburg and T. Tyrrell. 1990. *A farm machinery sele and management program*. Journal of Production Agriculture 3(2): 212-219.
17. Smith, E. S. and J. D. Oliver. 1974. *Annuity approach to machinery c* Transactions of the ASAE 17(5): 796-797.

18. Thuesen, H. G., W. J. Fabrycky and G. J. Thuesen. 1971. *Engineerir Economy*, 4th Ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

19. Tufts, R. A. 1955. *Failure frequency and downtime duration effects on equipme availability*. Transactions of the ASAE 28(4): 999-1002.

20. Tulu, M. Y., J. B. Holtman, R. B. Fridley and S. D. Parsons. 1974. *Timeline costs and available working days - Shelled corn*. Transactions of the ASAE 17(5 800-804.

21. Von Bargen, K. and M. B. Cunney. 1974. *Activity ratios for farm machine operations analysis*. Transactions of the ASAE 17(2): 225-227.

22. Ward, S. M., P. B. McNulty and M. B. Cunney. 1985. *Repair costs of 2 and WD tractors*. Transactions of the ASAE 28(4): 1074-1076.

ثبت المصطلحات العلمية

أولاً: عربي - إنجليزي

أ

احتراق	Combustion
احتراق انتشاري	diffusion burning
احتراق مسبق الخلط	premixed burning
طاقة محررة من	energy release from
كيمياء	chemistry
نسبة مكافئة	equivalence ratio
نسبة مكافئة للهواء إلى الوقود	stoichiometric air/fuel ratio
نسبة الهواء إلى الوقود	air/fuel ratio
نواتج نظرية لـ	theoretical products of
احتكاك	Friction
التربة – المعدن	soil-metal
داخلي للتربة	internal, soil
معامل الـ	coefficient of
اختبارات نبراسكا للجرارات	Nebraska tractor tests
إزاحة	Displacement
محرك	engine

hydraulic motor	محرك هيدروليكي
pump	مضخة
Fluid power principles	أساسيات القدرة الهيدروليكية
Specific Fuel Consumption (SFC)	الاستهلاك النوعي للوقود
Indicated (ISFC)	بياني
Brake (BSFC)	فرملي
Threshing cylinders	أسطوانات (درافيل) الدراس
Rasp-bar cylinders	أسطوانات ذات جرائد
Cylinder, hydraulic	أسطوانة هيدروليكية
single acting	أحادية الفعل
double acting	زوجية الفعل
Tire	إطار (عجلة)
section height	ارتفاع المقطع
deflection	انحناء
slip (See Traction)	انزلاق (انظر الشد)
bias/biased ply	تيلة منحرفة
radial ply	تيلة نصف قطرية
classification codes	رموز التصنيف
tangential pull	شد مماس
section width	عرض المقطع
diameter	قطر
aspect ratio	نسبة الطول إلى العرض
rolling radius	نصف قطر التدحرج
loaded radius	نصف قطر محمل
Theoretical consideration	اعتبارات نظرية
fundamentals of bush and treeshakers	أساسيات الدفع وهزازات الأشجار

معادلة لاجرانج — Lagrange's equation

- درجات حرية متعددة — multi-degree of freedom

قدرة الهزاز — shaker power

- ذبذبة الإثارة — excitation frequency /
- حل الحالة الاستقرار (خاص) — steady state(particular) solution
- حل الحالة الانتقال (مكمل) — transient (complementary) solution
- الذبذبة (تردد) الطبيعية — natural frequency
- قوة التوازن — force balanced
- نسبة التضاؤل — damping ratio

هزاز ذو ثلاث كتل متحركة — three moving mass shaker

- قوة توازن — force balanced
- نماذج هز في اتجاهين (مستويين) — two-dimensional shaking patterns

هزاز ذو كتلتين متحركتين — double moving mass shaker

هزاز ذو كتلة واحدة متحركة — single moving mass shaker

الفصل أثناء الحصاد — detachment during harvest

- أساليب (أنواع) الاهتزاز — modes of vibration
- الأسلوب البندولي — pendular mode
- أسلوب الإمالة — tilting mode
- أسلوب اهتزازي — vibrational mode
- زيتون — olives
- فراولة — strawberries

مفاهيم الديناميكا الهوائية — aerodynamic concepts

- خواص الديناميكا — aerodynamic properties of blueberries

الهوائية للتوت الأزرق

سرعة حدية terminal velocity

معامل الشد drag coefficient

خواص الديناميكا الهوائية للفراولة aerodynamic properties of strawberries

سرعة حدية terminal velocity

معامل الشد drag coefficient

نماذج التصادم والتهشم الميكانيكي impact models and mechanical damage

استجابة قوة التصادم impact force response

معامل الارتداد coefficient of restitution

تهشم ميكانيكي mechanical damage

نماذج التصادم - تطبيقات impact models-applications

التشكل الدائم للفاكهة permanent fruit deformation

تفاح apple

توت أزرق blueberries

خوخ peaches

كمثرى pear

نموذج كلفن Kelvin model

نموذج ماكسويل Maxwell model

نماذج التصادم مع مؤثرات الصلابة والتضاؤل impact models with firmness and damping effects

حل خاص particular solution

حل مكمل complementary solution

معامل التضاؤل damping factor

نموذج كلفن Kelvin model

نموذج ماكسويل Maxwell's model

أقل حراثة Minimum tillage

آلات Machinery

إحلال replacement

اختيار selection

احتمالية يوم تشغيل جيد probability of a good working day

اعتمادية reliability

تكاليف (انظر تكاليف، آلة) cost (See Cost, machine)

عمر life

آلات بذر Planters

أجهزة مراقبة monitors

أداء performance

أصبع لاقط finger pickup

إنبات germination

انبثاق (بزوغ) emergence

تسطير drill

دقيقة precision

سلاسل تغطية drag chains

عجلات ضاغطة press wheels

في جور punch

لاقرصية plateless

معايرة calibration

معدل بذر seeding rate

هوائية air

آلات حصاد ودراس Combines

اختبار حقلي field testing

اختبار معملي	laboratory testing
أرض منحدرة	hillside
أسطوانات	cylinders
تشغيل أساسي	basic operations
حذاء تنظيف	cleaning shoe
دراس، دوراني	threshing, rotary
تقليدي	conventional
رأس حصد الذرة	corn head
رؤوس حصد	headers
متطلبات القدرة	power requirements
المضرب، مؤشر	reel, index
أنواع	types
مكونات وظيفية	functional components
وحدة فصل، تقليدية	separating unit, conventional
أداء	performance
دورانية	rotary
آلات حصاد ودراس للأراضي المنحدرة	Hillside combines
آلات حصاد ودراس ذاتية الحركة	Self-propelled combines
آلات الرش	Sprayers
آلات عزيق	Cultivators
آلة تصفيف	Windrower
آلة تقليب	Rake
ذات عجلة أصبعية	finger wheel
ذات القضبان المتوازية	parallel bar
آلة تهيئة وتجهيز (انظر محشة)	Conditioner (See Mower)
آلة حش وتجهيز	Mower conditioner

Forage harvester	آلة حصاد أعلاف
feed rolls	بكرات تغذية
chopping	تفتيت (تجزييء)
headers	رؤوس قطع
recutter screen	شبكة إعادة التقطيع
specific cutting energy	الطاقة النوعية للتقطيع
length of cut	طول القطع
countershear	قص معاكس
precision cut	قطع دقيق
cut and throw	قطع وقذف
cut and blow	قطع ونفخ
power requirements	متطبات القدرة
feed rate	معدل تغذية
Transplanter	آلة شتل
performance	أداء
roll-feed	تغذية بالأسطوانة
trays	صواني
ferris-wheel type	عجلة طافية
dibble type	في جور
roll-type	النوع الأسطواني
Baler	آلة عمل البالات
round	أسطوانية
flywheel	حذافة
crank speed	سرعة المرفق
capacity	سعة
knotter	عاقد

غرفة	chamber
كباس	plunger
متطلبات القدرة	power requirement
مستطيلة	rectangular
معدل	rate
التصاق	Adhesion
أمونيا لامائية	Anhydrous ammonia
موزع	applicator
إنبات (انظر بذرة)	Germination (See Seed)
انبثاق (انظر نبات)	Emergence (See Plant)
انتقال الضغط	Pressure transients
انجراف ، رش	Drift, spray
أوزان / موازن	Ballast/Ballasted

ب

باذرات بالنثر	Broadcast seeder(s)
بوابات	gates
معدل	rate
باذرة بالنثر تعمل بالطرد المركزي	Centrifugal broadcast seeder
بالة	Bale
أسطوانية	round
ربط بالخيط	twine tied
ربط بالسلك	wire tied
كثافة	density
بذار	Planting
تسطير	drilling

English	العربية
fluid drilling	تسطير مائع
precision	دقيقة
drill	سطارة
swath width	عرض الصف
row spacing	مسافة بين الصفوف
broadcast	بالنثر
Seed	بذرة (حبة)
friction	احتكاك
drum	أسطوانة
plates	أقراص
germination	إنبات
tube	أنبوب
hopper	خزان
properties, table of	خواص، جدول الـ
fall time	زمن سقوط
depth	عمق
density	كثافة
singulated	مفردة
transport	نقل
Nozzles, spray	بشابير، رش
Spray nozzles	بشابير الرش
Pick-up reel	بكرة التقاط

ت

English	العربية
Soil	تربة
classification	تصنيف

خواص	properties
درجة التشبع	degree of saturation
قطع	cutting
كثافة	density
مسامية	porosity
ترذيذ	Atomization
تكسر شريحة	sheet break-up
تكسر قطرة	droplet break-up
تكسر نافورة	jet break-up
توزيع مقاس القطرات	droplet size distribution
ترقيم الإطارات (انظر الشد)	Wheel numeric (See Traction)
تصفيف	Windrowing
تعاقب، المشغلات الهيدروليكية	Sequencing, of hydraulic actuators
تغذية بعجلة نجمية	Star wheel feed
تفتيت (تقطيع وتجزييء) (انظر حاصدة الأعلاف)	Chopping (See Forage harvester)
تقليب	Agitation
ميكانيكي	mechanical
هيدروليكي	hydraulic
تكاليف، آلة	Costs, machine
استهلاك	depreciation
إصلاح وصيانة	repair and maintenance
امتلاك	ownership
تشغيل	operating
دالة وحدة السعر	unit price function
زيت	oil
فائدة الاستثمار	interest on investment

timeliness (See Timeliness)	الوقت الأمثل (انظر الوقت الامثل)
fuel	وقود
fuel and oil	وقود وزيت
Seed damage	تلف البذور
harvesting	حصاد
conveying	نقل
Seed metering	تلقيم البذور
performance	أداء
gate	بوابة
feed gate	بوابة تغذية
adjustable feed gate	بوابة تغذية قابلة للضبط
adjustable gate	بوابة قابلة للضبط
fluted wheel	عجلة مموجة
row width	عرض الصف
orifice	فتحة
variable orifice	فتحة متغيرة
vacuum disk	قرص تفريغ
pressure disk	قرص ضغط
spinning disk	قرص مغزلي
internal run	مجرى داخلي
internal double run	مجرى داخلي مزدوج
monitoring	مراقبة
rate	معدل
agitator	مقلب
Cohesion	تماسك
Conditioning	تهيئة وتجهيز

توازن	Balancing
توجيه محوري	Articulated steering
توزيع مقاس القطرات	Droplet size distribution

ث

ثنائي الدفع	Two wheel drive (2WD)

ج

جرار	Tractor
اختبار	testing
إطارات (انظر إطارات)	tires (See Tires)
شبك (انظر الشبك)	hitches (See Hitches)
مأخذ القدرة	power take off
محركات	engines
الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين	American Society of Agricultural Engineers (ASAE)
جمعية مهندسي المحركات	Society of Automotive Engineers(SAE)
جنزير	Chain
حلقة ذات خطوة قياسية	standard pitch roller
خطوة مزدوجة	double pitch
ذاتي التزييت	self lubricating
وصلة شبك	detachable-link
جنزير ذو حلقات	Roller chain

ح

حافة قطع	Cutting edge

احتكاك	friction
حاد	sharp
حدة	sharpness
مساحة أمامية	frontal area
مشرشر	serrated
معامل احتكاك	friction coefficient
نعومة	fineness
حاكم	Governor
تنظيم	regulation
سرعة عالية بدون حمل	high idle speed
قصوى	maximum
متحكم به	controlled
حجم	Volume
قطر متوسط	mean diameter
قطر وسيط	median diameter
حجم (في المحركات)	Volume (in engines)
إزاحة	displacement
أقصى حجم للغاز	maximum gas
خلوص	clearance
حجم الخلوص	Clearance volume
حذاء تنظيف	Cleaning shoe
حراثة	Tillage
حصاد الذرة	Corn harvesting
بكرات النزع	snapping rolls
وحدة تجميع	gathering unit
حصاد الفواكه والخضراوات	Fruit and vegetable harvesting

حصاد الفواكه والنُقْل والخضروات — Fruit, nut, and vegetable harvesting

principles of mechanical harvesting of fruits, vegetables and nuts

أساسيات الحصاد الميكانيكي للفواكه والخضروات والنُقْل

قيود اقتصادية — economic constraints

حصاد الفواكه والنُقْل والخضروات — harvesting of fruits, nuts and vegetables

قيود طبيعية — natural constraints

حصاد مرة واحدة أو حصاد متعدد — one-time harvesting or multiple harvests

حمل ديناميكي — Dynamic load

رأسي — vertical

خ

خزان، هيدروليكي — Reservoir, hydraulic

خطوط، هيدروليكية — Lines, hydraulic

سريان طبقي (رقائقي) — laminar flow

سريان مضطرب — turbulent flow

هبوط الضغط — pressure drop

د

درجة حرارة اللهب المتزنة — Equilibrium flame temperature

دفع أمامي مساعد — Front wheel assist (FWA)

دوار — Rotor

قفص سنجابي — squirrel cage

ملفوف — wound

دورة — Cycle

أوتو	Otto
ديزل	diesel
كفاءة (انظر كفاءة)	efficiency (See Efficiency)
مزدوجة	dual
دينامومتر (جهاز قياس الشد)	Dynamometer

ر

رباعي الدفع	Four wheel drive (4WD)
رجيع	Tailings
رداخات	Straw walkers
رشاشات بساتين ذات ضغط عالي	High pressure orchard sprayers
رشاشات حقلية	Field sprayers
رطوبة	Moisture
محتوى	content
٪٢٣	23 %
رقم رينولد	Reynoldís number
رموز مؤتمر الصناعة الموحد	JIC symbols

ز

زاوية	Angle
الإمالة	slant
انحراف	rake
خلوص	clearance
السكون	repose
الشبك	clip
الشريحة	chip

القطع	cutting
اللف	wrap
الميل	bevel
ميل السكين	oblique
ميل النبات	tilt
زاوية الميل	Tilt angle

س

سحب	Pull
على الجرارات	on tractors
قضيب الشد	drawbar
سعة حقلية	Field capacity
تكاليف	cost(s)
سكاكين قرصية	Coulters
سلاح، محراث	Share, plow
سماد	Fertilizer
طرق التوزيع	application methods
ناثرات طاردة مركزية	centrifugal broadcasters
النوع ذو الإسقاط	drop-type
سيلاج	Silage
سيور	Belts
سعة	capacity
سير على شكل حرف (V)	v-belt
شد	tension
مواصفات قياسية	standards
سير على شكل حرف (V)	V-belts



شاحن تربيني	Turbocharger
تربين	turbine
تعزيز	boost
ضاغط	compressor
كفاءة الضاغط	compressor efficiency
مبرد إضافي	intercooler(aftercooler)
نسبة درجة الحرارة	temperature ratio
نسبة الضغط	pressure ratio
شبك	Hitch
أذرع سفلية	lower links
ارتفاع الذراع	mast height
تحكم في الشد	draft control
تحكم في الوضع	position control
حمل متحكم به	load-controlled
ذراع علوي	top link
سفلي	lower
شبك سريع	quick-attaching
قضيب الشد	drawbar
نقاط	points
نقاط ثلاثية	three point
شبك	Hitching
نصف معلق	semi-mounted
نوع مجرور	pull-type
شبك أفقي	Horizontal hitching
شبك نصف معلق	Semi-mounted hitching

الشد النوعي	Specific draft
الشد	Tractive
قوة	force
كفاءة	efficiency
شد	Traction
ترقيم الإطارات	wheel numeric
كفاءة	efficiency
مساعدات (معينات)	aids
معامل الوزن الديناميكي	dynamic weight coefficient
نسبة الشد (الجر) الإجمالية	gross traction ratio
نسبة الشد (الجر) الصافية	net traction ratio
نسبة مقاومة الحركة	motion resistance ratio
نماذج	models
والانزلاق	and slip
ودمج التربة	and soil compaction
ومؤشر مخروط التربة	and soil cone index
شد بالطرد المركزي	Centrifugal tension

ص

صف (ضيق)	Windrow
صف (عريض)	Swath
صمامات	Valves
أولوية	priority
تأثير مباشر	direct-acting relief
تجاوز الضغط	pressure override
تحكم في الاتجاه	directional control

تحكم في الحجم	volume control
تحكم في المشوار	stroke control
تشغيل دليلي	pilot-operated relie
توقيت	timing
خانق	throttling
ضغط التصدع	cracking pressure
مركز مرادف	tandem center
مركز مغلق	closed center
مركز مفتوح	open center
معادل للضغط	pressure compensated
معادل لفرق الضغط	differential pressure compensating (DPCV)
صمام تحويل، تشغيل دليلي	Bypass valve, pilot operated
صومعة	Silo

ع

عزاقات حقلية	Field cultivators
شبك رأسي	vertical hitching
عزاقة دورانية	Rotary cultivator
عزاقة محاصيل الصفوف	Row-crop cultivator
عزم التواء	Torque
احتكاكي	friction
بياني	indicated
ذروة (قمة)	peak
شد (جر) – محدود	traction-limited
فرملي	brake
مخزون	reserve

Hay	ف جاف (تبن)
baling	عمل بالات
cutting	قطع
moisture content	محتوى رطوبي
drying rate	معدل التجفيف
curing	معالجة
composition	مكونات
Functional harvesting processes	ـمليات الوظيفية للحصاد
selection	اختيار
uniformity	انتظامية
maturity	نضج
control	تحكم
root crops	محاصيل درنية (جذرية)
potato harvesting	حصاد البطاطس
peanut harvesting	حصاد فول السوداني
surface crops	محاصيل سطحية
tomato harvesting	حصاد الطماطم
strawberry harvesting	حصاد الفراولة
cabbage harvesting	حصاد الكرنب
tree crops	محاصيل شجرية
tree harvesters	آلات حصاد الأشجار
automatic tree harvesters	حصاد الأشجار آليًا
pick-up systems	منظومات الالتقاط
aerodynamic cleaning	تنظيف هوائي
ground collection systems	منظومات التجميع الأرضي

هزازات أشجار — tree shakers

توافق البناء (شجرة) — structural harmonics (tree)

جهد القص — shear stress (bark)

كتل دورانية لامركزية — eccentric rotating masses

النُقْل والموالح — nuts and citrus

محاصيل شجيرية وتعريشية — bush and trellis crops

حصاد العنب — grape harvesting

طريقة الهز والمسك — shake-catch method

ماسكات الفاكهة — fruit catchers

هزازات — shakers

اتزان — force balanced

آلة حصاد العنب — grape harvester

حصاد الثمار الصغيرة — bramble harvesting

موازنة القوة — force balancing

نزع — removal

نقل — transportation

منطقة الحصاد — harvesting zone

منظومات الحصاد التصنيفي — classifying harvesting systems

عوامل أداء الحصاد — Harvesting performance factors

اعتمادية — reliability

تلوث المنتج — product contamination

السلامة — safety

تلف — damage

توت أزرق — blueberries

الكدم، القطع، الكشط — bruising, cutting, scuffing

كدمة (جرح)	bruising
كفاءة	efficiency
الكفاءات الحقلية للحصاد	field harvest efficiencies

ف

جاجات الأخدود	Furrow openers
قرصي مزدوج	double disk
نوع زاحف	runner type

ق

ـرة	Power
احتكاك	friction
بيانية	indicated
عمود مأخذ	pto
عمود	shaft
فرملية (حذافة)	brake (flywheel)
قضيب الشد	drawbar
مكافئة للوقود	fuel equivalent
هيدروليكية	hydraulic
ـرة الاحتكاك (انظر قدرة)	Friction power (See Power)
ـرة بيانية (انظر قدرة)	Indicated power (See Power)
ـرة فرملية (انظر قدرة)	Brake Power (See Power)
ـرة قضيب الشد	Drawbar power
ـرة مكافئة للوقود (انظر قدرة)	Fuel equivalent power (See Power)
ـس، التربة	Shear, soil
قطع	Cutting

بقص معاكس	with countershear
تصادم	impact
تكرار	frequency
قدرة	power
قوة	force
قوة حافة السكين	knife edge force
كبس	compression
لوح مستعرض	ledger plate
مائل	oblique
مخلب (سكين)	sickle
مستقيم	straight
قوة رأسية	Vertical force
قوة شد آلات الحراثة	Draft of tillage implements
تأثير السرعة	effect of speed
معادلة التوقع	prediction equation
قوى غير نافعة	Parasitic forces
القوى النافعة للتربة	Useful soil forces
القيمة الحرارية للوقود	Heating values of fuels
إجمالي (عليا)	gross (higher)
جدول الـ	table of
صافي (سفلى)	net (lower)



كفاءة	Efficiency
الحجم الهيدروليكي للمحرك	hydraulic motor volumetric
حجمية للمحرك	engine volumetric

pump volumetric	حجمية للمضخة
indicated thermal	حرارية بيانية
brake thermal	حرارية فرملية
field	حقلية
cycle	دورة
tractive (See Tractive, efficiency)	الشد (انظر الشد، كفاءة)
pump torque	عزم المضخة
hydraulic motor torque	العزم الهيدروليكي للمحرك
pump power	قدرة المضخة
hydraulic motor power	القدرة الهيدروليكية للمحرك
of electric motors (See Motors, electric)	للمحركات الكهربائية (انظر محركات كهربائية)
engine mechanical	ميكانيكية للمحرك

ل

Windrow pick-up	لاقط الصف
Viscosity, hydraulic fluid	لزوجة، مائع هيدروليكي

م

Power take off (See Tractor)	مأخذ القدرة (انظر جرار)
Intercooler (See Turbocharger)	مبرد إضافي (انظر شاحن تربيني)
Oil cooler	مبرد زيت
Mean effective pressure	متوسط الضغط الفعال
friction	احتكاكي
indicated	بياني
cycle	دورة

فرملي	brake
مجال الخطوط المغناطيسية	Magnetic flux field
مجال مغناطيسي	Magnetic field
أقطاب	poles
أقطاب شمالية وجنوبية	north and south poles
قطب جنوبي	south pole
قطب شمالي	north pole
محاريث الجذامة	Stubble-mulch plows
محاريث حفارة	Chisel plows
محاريث قلابة مطرحية	Moldboard plows
محرك	Engine
ديزل ذو سحب طبيعي للهواء	naturally aspirated diesel
غازات العادم	exhaust gases
محرك احتراق داخلي	I C engine
محرك اشتعال بالضغط	C I engine
محركات، كهربائية	Motors, electric
اتجاه الدوران	direction of rotation
أحادية الطور	single-phase
أقطاب مغناطيسية	magnetic poles
شمالية وجنوبية	north and south
انزلاق	slip
بادئات الحركة	starters
بدء الحركة بالتنافر	repulsion-start
تصنيف	classification of
ثلاثي الطور	three phase
الجزء الثابت (المخدات)	stator

dual-voltage	جهد كهربائي مزدوج
induction	حثي
induction run	حركة حثية
thermal protector/protection	حماية حرارية
squirrel-cage rotor	دوار ذو قفص سنجابي
synchronous speed	سرعة متزامنة
variable-speed	سرعة متغيرة
torque	عزم
efficiency	كفاءة
split-phase	مُجزأة الطور
name plate information	معلومات لوحة الاسم
enclosures	مغلفات
magnet	مغناطيس
ratings	مقررة
capacitor-start	مكثف بدء الحركة
two-value-capacitor	مكثف ذو قيمتين
starting windings	ملفات البدء
components	مكونات
wye connection	وصلة ذات شعبتين
delta connection	وصلة مثلثية
Electric motors (See Motors, electric)	محركات كهربائية (انظر محركات كهربائية)
Motor, hydraulic	محرك، هيدروليكي
variable-displacement	إزاحة متغيرة
gear	ترس
vane	ريشية
efficiency (See Efficiency)	كفاءة (انظر كفاءة)

محشات	Mowers
ارتفاع بقايا النباتات	stubble height
ألواح عرضية	ledger plate(s)
انتظام	register
انتظام السكين	knife register
انتظامية بقايا النباتات	stubble uniformity
تكرار	frequency
تجهيز وتهيئة	conditioner
ثقل معادل	counterweight
حافظة	guard(s)
دورانية	rotary
عرض وارتفاع الصف (الكوم)	swath height and width
متطلبات القدرة	power requirements
محاذاة	alignment
مخلب (سكين)	sickle
حوافظ	guards
قضيب	bar
مدراسية	flail
ميل	tilt
نواقل الحركة	drives
وزن معادل	counterbalancing
مرذاذات	Atomizers
دورانية	rotary
ضغط	pressure
هوائية	pneumatic
مرشح	Filter

hydraulic oil	زيت هيدروليكي
Head Dead Center (HDC)	مركز الرأس الميت
Crank Dead Center (CDC)	مركز المرفق الميت
Lister	مشط قرصي رأسي
Pumps	مضخات
Sprayer pumps	مضخات آلة الرش
Pump, hydraulic	مضخات ، هيدروليكية
displacement (See Displacement)	إزاحة (انظر إزاحة)
gear	ترسية
axial piston	ذات كباس محوري
radial pistons	ذات كباسات قطرية
vane	ريشية
efficiency (See Efficiency)	كفاءة (انظر كفاءة)
variable displacement	متغيرة الإزاحة
Reel	مضرب (بكرة)
cam control	تحكم بالكامة
parallel bar	قضبان متوازية
pickup	لاقط
Calibration	معايرة
Pull-type implements	معدات من النوع المقطور
horizontal hitching	شبك أفقي
vertical hitching	شبك رأسي
Interest rate, real	معدل فائدة ، حقيقي
Implement	معدة (آلة)
fully mounted	معلقة بالكامل
semi-mounted	نصف معلقة

Equipment Manufacturerfs Institute (EMI)	معهد صانعي المعدات
Rolling resistance	مقاومة التدحرج
Raking front	مقدمة التقليب
Capacitor-start	مكثف بدء الحركة
Capacitor-start motor	مكثف لبدء حركة محرك
Capacitor-start, induction-run motors	مكثف لبدء حركة المحركات الحثية
Bypass pressure regulators	منظمات ضغط التحويل
Organization of Economic and Community Development (OECD)	المنظمة الاقتصادية وتطوير المجتمع
International Standards Organization (ISO)	المنظمة الدولية للمواصفات والمقاييس
Closed center system (hydraulic)	منظومة ذات مركز مغلق (هيدرولية)
Open center system (hydraulic)	منظومة ذات مركز مفتوح (هيدرولية)
Hydraulic system	منظومة هيدرولية
open-center	مركز مفتوح
pressure-compensated	معادل للضغط
pressure-flow-compensated	معادل للضغط والسريان
Cone index (See Traction)	مؤشر المخروط (انظر الشد)
Soil cone index (See Traction)	مؤشر مخروط التربة (انظر الشد)

ن

Broadcasters	ناثرات
centrifugal	طاردة مركزية
distribution patterns	أنماط توزيع
drop-type	نوع ذو الإسقاط
Auger conveyors	نواقل بريمية
capacity	سعة

كفاءة	efficiency
متطلبات القدرة	power requirements
ناقل هيدروستاتيكي	Hydrostatic drive
نبات	Plant
ألياف دقيقة	microfibrils
بزوغ (انبثاق)	emergence
انحناء الساق	stem deflection
جدران الخلية	cell walls
ساق	stem
كثافة	population
كثافة جدار الخلية	cell wall density
معامل المرونة	modulus of elasticity
مقاومة انحناء	bending strength
مقاومة الشد	tensile strength
نثر	Broadcasting
نسبة التكافؤ	Equivalence ratio
نسبة الشد	Tension ratio
نسبة الكبس	Compression ratio
نسبة مكافئة	Stoichiometric
نسبة الهواء إلى الوقود (انظر الاحتراق)	A/F ratio (See Combustion)
نسبة الهواء إلى الوقود (انظر الاحتراق)	Air/fuel ratio (See Combustion)
نسبة الوقود إلى الهواء (انظر الاحتراق)	F/A ratio (See Combustion)
نسبة الوقود إلى الهواء (انظر الاحتراق)	Fuel/air ratio (See Combustion)
نقل	Conveying
بريمة	auger
سير	belt

قادوس (وعاء)	bucket
هوائي	pneumatic
نقل الحركة سرعة متغيرة	Variable speed drive
نقل هيدروستاتي	Hydrostatic transmission
نواقل الحركة بعمود مأخذ القدرة	Power-take off drives

هـ

هيدروليكي	Hydraulic
أسطوانات	cylinders
تحكم في الضغط	pressure control
صمام، تحكم في الاتجاه	valve, direction control
قدرة	power
قدرة، معادلة	power, equation
محركات	motors
مضخات	pumps
مقسم أولوية السريان	priority flow divider
مقسم تناسب السريان	proportional flow divider
منظومات	systems

و

وحدات تجميع، آلة حصاد الذرة	Gathering units, corn harvester
وزن	Weight
دينامي	dynamic
معامل	coefficient
ستاتيكي	static
منقول	transfer

ردود الفعل الاستاتيكية على العجلة static wheel reactions

وسائل تغطية	Covering devices
وصلة جامعة	Universal joint
الوقت الأمثل	Timeliness
تكاليف	costs
معامل	coefficient

ثانيًا: إنجليزي - عربي



A/F ratio(See Combustion)	نسبة الهواءإلى الوقود (انظر الاحتراق)
Adhesion	التصاق
Agitation	تقليب
hydraulic	هيدرولي
mechanical	ميكانيكي
Air/fuel ratio (See Combustion)	نسبة الهواء إلى الوقود (انظر الاحتراق)
American Society of Agricultural Engineerin	الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين
Angle	زاوية
bevel	الميل
chip	الشريحة
clearance	خلوص
clip	الشبك
cutting	القطع
oblique	ميل السكين
rake	انحراف
repose	سكون

slant	الإمالة
tilt	ميل النبات
wrap	لف
Anhydrous ammonia	أمونيا لامائية
applicator	موزع
Articulated steering	توجيه محوري
Atomization	ترذيذ
jet break-up	تكسر نافورة
sheet break-up	تكسر شريحة
droplet break-up	تكسر قطرة
droplet size distribution	توزيع مقاس القطرات
Atomizers	مرذاذات
pneumatic	هوائية
pressure	ضغط
rotary	دوراني
Auger conveyors	ناقلات بريمية
capacity	سعة
efficiency	كفاءة
power requirements	متطلبات القدرة

B

Balancing	توازن
Bale	بالة
density	كثافة
round	أسطوانية
twine tied	ربط بالخيط

wire tied	ربط بالسلك
Baler	آلة عمل البالات
capacity	سعة
chamber	غرفة
crank speed	سرعة المرفق
flywheel	حذافة
knotter	عاقد
plunger	كباس
power requirement	متطلبات القدرة
rate	معدل
rectangular	مستطيلة
round	أسطوانية
Ballast/Ballasted	أوزان/ موازن
Belts	سيور
capacity	سعة
standards	قياسية
tension	شد
V-belt	سير على شكل حرف (V)
Brake power (See Power)	قدرة فرملية (انظر قدرة)
Broadcast seeder (s)	باذرات بالنثر
gates	بوابات
rate	معدل
Broadcasters	ناثرات
centrifugal	طاردة مركزية
distribution patterns	أنماط توزيع
drop-type	نوع ذو الإسقاط

Broadcasting	نثر
Bypass pressure regulators	منظمات ضغط التحويل
Bypass valve, pilot operated	صمام تحويل، تشغيل دليلي

C

Calibration	معايرة
Capacitor-start	مكثف بدء حركة
Capacitor-start motor	مكثف لبدء حركة محرك
Capacitor-start, induction-run motors	مكثف لبدء حركة المحركات الحثية
Centrifugal broadcast seeder	باذرة بالنثر تعمل بالطرد المركزي
Centrifugal tension	شد بالطرد المركزي
Chain	جنزير
detachable-link	وصلة شبك
double pitch	خطوة مزدوجة
self lubricating	ذاتي التزييت
standard pitch roller	حلقة ذات خطوة قياسية
Chopping (See Forage harvester)	تفتيت (تجزييء) (انظر حاصدة الأعلاف)
Chisel plows	محاريث حفارة
CI engine	محرك اشتعال بالضغط
Cleaning shoe	حذاء تنظيف
Clearance volume	حجم الخلوص
Closed center system (hydraulic)	منظومة ذات مركز مغلق (هيدرولية)
Cohesion	تماسك
Combines	آلات حصاد ودراس
basic operation	تشغيل أساسي
cleaning shoe	حذاء تنظيف

رأس حصد الذرة	corn head
أسطوانات	cylinders
اختبار حقلي	field testing
مكونات وظيفية	functional components
رؤوس حصد	headers
أرض منحدرة	hillside
اختبار معملي	laboratory testing
متطلبات القدرة	power requirements
المضرب، مؤشر	reel, index
أنواع	types
وحدة فصل، تقليدية	separating unit, conventional
الأداء	performance
دورانية	rotary
دراس، دوراني	threshing, rotary
تقليدي	conventional
احتراق	Combustion
نسبة الهواء إلى الوقود	air/fuel ratio
كيمياء	chemistry
احتراق انتشاري	diffusion burning
طاقة محررة من	energy release from
نسبة مكافئة	equivalence ratio
احتراق مسبق الخلط	premixed burning
نسبة مكافئة للهواء إلى الوقود	stoichiometric air/fuel ratio
نواتج نظرية	theoretical products
نسبة الكبس	Compression ratio
آلة تهيئة وتجهيز (انظر محشة)	Conditioner (See Mower)

Conditioning	تهيئة وتجهيز
Cone index (See Traction)	مؤشر المخروط (انظر الشد)
Conveying	نقل
auger	بريمة
belt	سير
bucket	قادوس (وعاء)
pneumatic	هوائي
Corn harvesting	حصاد الذرة
gathering unit	وحدة تجميع
snapping rolls	بكرات النزع
Costs, machine	تكاليف الآلة
depreciation	استهلاك
fuel	وقود
fuel and oil	وقود وزيت
interest on investment	فائدة الاستثمار
oil	زيت
operating	تشغيل
ownership	امتلاك
repair and maintenance	إصلاح وصيانة
timeliness (See Timeliness)	الوقت الأمثل (انظر الوقت الأمثل)
unit price function	دالة وحدة السعر
Coulters	سكاكين قرصية
Covering devices	وسائل تغطية
Crank Dead Center (CDC)	مركز المرفق الميت
Cultivators	آلات عزيق
Cutting	القطع

compression	كبس
force	قوة
frequency	تكرار
impact	تصادم
knife edge force	قوة حافة السكين
ledger plate	لوح مستعرض
oblique	مائل
power	قدرة
sickle	مخلب (سكين)
straight	مستقيم
with countershear	بقص متعاكس
Cutting edge	حافة قطع
fineness	نعومة
friction	احتكاك
friction coeffici	معامل احتكاك
frontal area	مساحة أمامية
serrated	مشرشر
sharp	حاد
sharpness	حدة
Cylinder, hydraulic	أسطوانة، هيدرولية
double acting	زوجية الفعل
single acting	أحادية الفعل
Cycle	دورة
diesel	ديزل
efficiency (See Efficiency)	كفاءة (انظر كفاءة)
dual	مزدوجة

أوتو	Otto

D

إزاحة	Displacement
محرك	engine
محرك هيدرولي	hydraulic motor
مضخة	pump
قوة شد آلات الحراثة	Draft of tillage implements
تأثير السرعة	effect of speed
معادلة التنبؤ	prediction equation
قدرة قضيب الشد	Drawbar power
انجراف ، الرش	Drift, spray
توزيع مقاس القطرات	Droplet size distribution
حمل ديناميكي	Dynamic load
رأسي	vertical
ديناموميتر (جهاز قياس الشد)	Dynamometer

E

كفاءة	Efficiency
حرارية فرملية	brake thermal
دورة	cycle
ميكانيكية للمحرك	engine mechanical
حجمية للمحرك	engine volumetric
حقلية	field
القدرة الهيدرولية للمحرك	hydraulic motor power
العزم الهيدرولي للمحرك	hydraulic motor torque

hydraulic motor volumetric	الحجم الهيدرولي للمحرك
indicated thermal	حرارية بيانية
of electric motors (See Motors, electric)	للمحركات الكهربائية (انظر محركات، كهربائية)
pump power	قدرة المضخة
pump torque	عزم المضخة
pump volumetric	حجمية للمضخة
tractive (See Tractive, efficiency)	الشد (انظر الشد، كفاءة)
Electric motors (See Motors, electric)	محركات كهربائية (انظر محركات، كهربائية)
Emergence (See Plant)	إنبات (انظر نبات)
Engine	محرك
exhaust gasses	غازات العادم
naturally aspirated diesel	ديزل ذو سحب طبيعي للهواء
Equilibrium flame temperature	درجة حرارة اللهب المتزنة
Equipment Manufacturer's Institute (EMI)	معهد صانعي المعدات
Equivalence ratio	نسبة التكافؤ

F

F/A ratio (See Combustion)	نسبة الوقود إلى الهواء (انظر احتراق)
Fertilizer	سماد
application methods	طرق التوزيع
centrifugal broadcasters	ناثرات طاردة مركزية
drop-type	النوع ذو الإسقاط
Field capacity	سعة حقلية
cost(s)	تكاليف
Field cultivators	عزاقات حقلية

شبك رأسي	vertical hitching
رشاشات حقلية	Field sprayers
مرشح	Filter
زيت هيدرولي	hydraulic oil
آساسيات القدرة الحقلية	Field power principles
آلة حصاد أعلاف	Forage harvester
تفتيت (تجزيىء)	chopping
قص معاكس	countershear
قطع ونفخ	cut and blow
قطع وقذف	cut and throw
معدل تغذية	feed rate
بكرات تغذية	feed rolls
رؤوس قطع	headers
طول القطع	length of cut
متطلبات القدرة	power requirements
قطع دقيق	precision cut
شبكة إعادة تقطيع	recutter screen
الطاقة النوعية للتقطيع	specific cutting energy
رباعي الدفع	Four wheel drive (4WD)
حصاد الفواكه والخضراوات	Fruit and vegetable harvesting
حصاد الفواكه والنُقْل والخضراوات	Fruit, nut, and vegetable harvesting
قيود اقتصادية	economic constraints
حصاد الفواكه والنُقْل والخضراوات	harvesting of fruits, nuts and vegetables
قيود طبيعية	natural constraints
حصاد مرة واحدة	one-time harvesting or multiple harvests

أو حصاد متعدد

principles of mechanical harvesting of fruits, vegetables and nuts

أساسيات الحصاد الميكانيكي للفواكه والخضروات والنُقُل

Friction — احتكاك

- coefficient of — معامل الـ
- internal, soil — داخلي للتربة
- soil-metal — التربة – المعدن

Friction power (See Power) — قدرة الاحتكاك (انظر قدرة)

Front wheel assist (FWA) — دفع أمامي مساعد

Fuel/air ratio (See Combustion) — نسبة الوقود إلى الهواء (انظر احتراق)

Fuel equivalent power (See Power) — قدرة مكافئة للوقود (انظر قدرة)

Functional harvesting processes — العمليات الوظيفية للحصاد

- bush and trellis crops — محاصيل شجيرية ومتعرشة
  - grape harvesting — حصاد العنب
    - fruit catchers — ماسكات الفاكهة
    - shake-catch method — طريقة الهز والمسك
    - shakers — هزازات
      - bramble harvesting — حصاد الثمار الصغيرة
      - force balance — اتزان القوة
      - force balancing — موازنة القوة
      - grape harvester — آلة حصاد العنب
- control — تحكم
- removal — نزع
- root crops — محاصيل درنية (جذرية)
  - peanut harvesting — حصاد فول السوداني

potato harvesting — حصاد البطاطس

selection — اختيار

maturity — نضج

uniformity — انتظامية

surface crops — محاصيل سطحية

cabbage harvesting — حصاد الكرنب

strawberry harvesting — حصاد الفراولة

tomato harvesting — حصاد الطماطم

transportation — نقل

classifying harvesting systems — منظومات الحصاد التصنيفي

harvesting zone — منطقة الحصاد

tree crops — محاصيل شجرية

automatic tree harvesting — حصاد الأشجار آليًا

pick-up systems — منظومات الالتقاط

aerodynamic cleaning — تنظيف هوائي

ground collection systems — منظومات التجميع الأرضي

tree harvesters — آلات حصاد الأشجار

tree shakers — هزازات أشجار

eccentric rotating masses — كتل دورانية لامركزية

nuts and citrus — النُقْل والموالح

shear stress (bark) — جهد القص

structural harmonics (tree) — توافق البناء (الشجرة)

Furrow openers — فجاجات الأخدود

double disk — قرصي مزدوج

runner type — نوع زاحف

G

Gathering units,corn harvester — وحدات تجميع، آلة حصاد الذرة

Germination (See Seed) — إنبات (انظر بذرة)

Governor — حاكم

- controlled — متحكم به
- high idle speed — سرعة عالية بدون حمل
- maximum — قصوى
- regulation — تنظيم

H

Harvesting performance factors — عوامل أداء الحصاد

- bruising — كدمة (جرح)
- damage — تلف
  - bruising, cutting, scuffing — الكدم، القطع، الكشط
  - blueberries — توت أزرق
- efficiency — كفاءة
  - field harvest efficiencies — الكفاءات الحقلية للحصاد
- reliability — اعتمادية
  - product contamination — تلوث المنتج
  - safety — السلامة

Hay — علف جاف (تبن)

- baling — عمل بالات
- composition — مكونات
- cutting — قطع
- drying rate — معدل التجفيف

curing	معالجة
moisture content	محتوى رطوبي
Head Dead Center (HDC)	مركز الرأس الميت
Heating value of fuels	القيمة الحرارية للوقود
gross (higher)	إجمالي (عليا)
net (lower)	صافي (سفلى)
table of	جدول لـ
High-pressure orchard sprayers	رشاشات بساتين ذات ضغط عال
Hillside combines	آلات حصاد ودراس للأراضي المنحدرة
Hitch	شبك
draft control	تحكم في الشد
drawbar	قضيب الشد
lower	سفلي
lower links	أذرع سفلية
load -controlled	حمل متحكم به
mast height	ارتفاع الذراع
points	نقاط
position control	تحكم في الوضع
quick-attaching	شبك سريع
three point	نقاط ثلاثية
top link	ذراع علوي
Hitching	شبك
pull - type	نوع مجرور
semi-mounted	نصف معلق
Horizontal hitching	شبك أفقي
Hydraulic	هيدرولي

cylinders	أسطوانات
motors	محركات
power	قدرة
power, equation	قدرة، معادلة
pressure control	تحكم في الضغط
priority flow divider	مقسم أولوية السريان
proportional flow divider	مقسم تناسب السريان
pumps	مضخات
systems	منظومات
valve, direction control	صمام، تحكم في الاتجاه
Hydraulic system	منظومة هيدرولية
open-center	مركز مفتوح
pressure-compensated	معادل للضغط
pressure-flow-compensated	معادل للضغط والسريان
Hydrostatic drive	ناقل هيدروستاتي
Hydrostatic transmission	نقل هيدروستاتي

I

IC engine	محرك احتراق داخلي
Implement	معدة (آلة)
fully mounted	معلقة بالكامل
semi-mounted	نصف معلقة
Indicated power (See Power)	قدرة بيانية (انظر قدرة)
Intercooler (See Turbocharger)	مبرد إضافي (انظر شاحن تربيني)
Interest rate, real	معدل فائدة، حقيقي

International Standards Organization (ISO)	المنظمة الدولية للمواصفات القياسية

J

JIC symbols	رموز مؤتمر الصناعة الموحد

L

Lines, hydraulic	خطوط، هيدرولية
laminar flow	سريان طبقي (رقائقي)
pressure drop	هبوط الضغط
turbulent flow	سريان مضطرب
Lister	مشط قرصي رأسي

M

Machinery	آلات
cost (See Costs,machine)	تكاليف (انظر تكاليف، آلة)
life	عمر
reliability	اعتمادية
replacement	إحلال
selection	اختيار
probability of a good working day	احتمالية يوم تشغيل جيد
Magnetic field	مجال مغناطيسي
north and south poles	أقطاب شمالية وجنوبية
north pole	قطب شمالي
poles	أقطاب
south pole	قطب جنوبي
Magnetic flux field	مجال الخطوط المغناطيسية

Mean effective pressure	متوسط الضغط الفعال
brake	فرملي
cycle	دورة
friction	احتكاك
indicated	بياني
Minimum tillage	أقل حراثة
Moisture	رطوبة
23%	٪٢٣
content	محتوى
Moldboard plows	محاريث قلابة مطرحي
Motor, hydraulic	محرك ، هيدرولي
efficiency (See Efficiency)	كفاءة (انظر كفاءة)
gear	ترس
vane	ريشية
variable-displacement	إزاحة متغيرة
Motors, electric	محركات، كهربائية
capacitor-start	مكثف بدء حركة
classification of	تصنيف
components	مكونات
delta connection	وصلة مثلثية
direction of rotation	اتجاه الدوران
dual-voltage	جهد كهربائي مزدوج
efficiency	كفاءة
enclosures	مغلفات
induction	حثي
induction run	حركة حثية

مغناطيس	magnet
أقطاب مغناطيسية	magnetic poles
شمال وجنوب	north and south
معلومات لوحة الاسم	name plate information
مقررة	ratings
بدء الحركة بالتنافر	repulsion-start
أحادية الطور	single-phase
انزلاق	slip
مجزأة الطور	split-phase
دوار ذو القفص السنجابي	squirrel-cage rotor
بادئات الحركة	starters
ملفات البدء	starting windings
الجزء الثابت (المخدات)	stator
سرعة متزامنة	synchronous speed
حماية حرارية / حماية	thermal protector/protection
ثلاثي الطور	three-phase
عزم	torque
مكثف ذو قيمتين	two-value-capacitor
سرعة متغيرة	variable-speed
وصلة ذات شعبتين	wye connection
محشة	Mower
محاذاة	alignment
تجهيز وتهيئة	conditioner
وزن معادل	counterbalancing
ثقل معادل	counterweight
ناقل الحركة	drive

flail	مدراسية
frequency	تكرار
guard(s)	حافظة
knife register	انتظام السكين
ledger plate(s)	ألواح عرضية
power requirements	متطلبات القدرة
register	انتظام
rotary	دورانية
sickle	مخلب (سكين)
bar	قضيب
guards	حوافظ
stubble height	ارتفاع بقايا النباتات
stubble uniformity	انتظامية بقايا النباتات
swath height and width	عرض وارتفاع الصف (الكوم)
tilt	ميل
Mower-conditioner	آلة حش وتجهيز

N

Nebraska tractor tests	اختبارات نبراسكا للجرارات
Nozzles,spray	بشابير، رش

O

Oil cooler	مبرد زيت
Open center system (hydraulic)	منظومة ذات مركز مفتوح (هيدروليًا)
Organization of Economic and Community Development (OECD)	المنظمة الاقتصادية وتطوير المجتمع

P

Parasitic forces	قوى غير نافعة
Pick-up reel	بكرة التقاط
Plant	نبات
bending strength	مقاومة انحناء ،
cell wall density	كثافة جدار الخلية
cell walls	جدران الخلية
emergence	بزوغ (انبثاق)
microfibrils	ألياف دقيقة
modulus of elasticity	معامل المرونة
population	كثافة
stem	ساق
stem deflection	انحناء الساق
tensile strength	مقاومة الشد
Planters	آلات بذر
air	هوائية
calibration	معايرة
drag chains	سلاسل تغطية
drill	تسطير
emergence	بزوغ (انبثاق)
finger pickup	أصبع لاقط
germination	إنبات
monitors	أجهزة مراقبة
performance	أداء
plateless	لاقرصية

precision	دقيقة
press wheel	عجلة ضاغطة
punch	في جور
seeding rate	معدل بذر
Planting	بذار
broadcast	بالنثر
drill	سطارة
drilling	بالتسطير
fluid drilling	تسطير مائع
precision	دقيق
row spacing	مسافة بين الصفوف
swath width	عرض الصف
Power	قدرة
brake (flywheel)	فرملية (حذافة)
drawbar	قضيب الشد
friction	احتكاك
fuel equivalent	مكافئة للوقود
hydraulic	هيدرولية
indicated	بيانية
pto	عمود مأخذ
shaft	عمود
Power take off (See Tractor)	مأخذ القدرة (انظر جرار)
Power-take-off drives	نواقل الحركة بعمود مأخذ القدرة
Pressure transients	انتقال الضغط
Pull	سحب
drawbar	قضيب الشد

on tractors	على الجرارات
Pull-type implements	معدات من النوع المقطور
horizontal hitching	شبك أفقي
vertical hitching	شبك رأسي
Pump, hydraulic	مضخة، هيدرولية
axial piston	ذات كباس محوري
displacement (See Displacement)	إزاحة (انظر إزاحة)
efficiency (See Efficiency)	كفاءة (انظر كفاءة)
gear	ترسية
radial pistons	ذات مكابس قطرية
vane	ريشية
variable displacement	متغيرة الإزاحة
Pumps	مضخات

R

Rake	آلة تقليب
finger wheel	ذات عجلة أصبعية
parallel bar	ذات القضبان المتوازية
Raking front	مقدمة التقليب
Rasp-bar cylinders	أسطوانات ذات الجرائد
Reel	مضرب (بكرة)
cam control	تحكم بالكامة
parallel bar	قضبان متوازية
pickup	لاقط
Reservoir, hydraulic	خزان، هيدرولي
Reynold's number	رقم رينولد

Roller chain	جنزير ذو حلقات
Rolling resistance	مقاومة التدحرج
Rotary cultivator	عزاقة دورانية
Rotor	دوار
squirrel cage	قفص سنجابي
wound	ملفوف
Row-crop cultivator	عزاقة محاصيل الصفوف

S

Seed	بذرة (حبة)
density	كثافة
depth	عمق
drum	أسطوانة
fall time	زمن سقوط
germination	إنبات
singulated	مفردة
friction	احتكاك
hopper	خزان
plates	أقراص
properties, table of	خواص، جدول الـ
transport	نقل
tube	أنبوب
Seed damage	تلف البذور
conveying	نقل
harvesting	حصاد
Seed metering	تلقيم البذور

adjustable feed gate	بوابة تغذية قابلة للضبط
adjustable gate	بوابة قابلة للضبط
agitator	مقلب
feed gate	بوابة تغذية
fluted wheel	عجلة مموجة
gate	بوابة
internal run	مجرى داخلي
internal double run	مجرى داخلي مزدوج
monitoring	مراقبة
orifice	فتحة
performance	أداء
pressure disk	قرص ضغط
rate	معدل
row width	عرض الصف
spinning disk	قرص مغزلي
vacuum disk	قرص تفريغ
variable orifice	فتحة متغيرة
Self-propelled combines	آلات حصاد ودراس ذاتية الحركة
Semi-mounted hitching	شبك نصف معلق
Sequencing, of hydraulic actuators	تعاقب، المشغلات الهيدرولية
Share, plow	سلاح، محراث
Shear, soil	قص، التربة
Silage	سيلاج
Silo	صومعة
Society of Automotive Engineers (SAE)	جمعية مهندسي المحركات
Soil	تربة

classification	تصنيف
cutting	قطع
degree of saturation	درجة التشبع
density	كثافة
porosity	مسامية
properties	خواص
Soil cone index (See Traction)	مؤشر مخروط التربة (انظر الشد)
Specific draft	الشد النوعي
Specific Fuel Consumption (SFC)	الاستهلاك النوعي للوقود
Brake (BSFC)	فرملي
Indicated (ISFC)	بياني
Spray nozzles	بشابير الرش
Sprayer pumps	مضخات الرشاشة
Sprayers	آلات الرش
Star wheel feed	تغذية بعجلة نجمية
Stoichiometric	نسبة مكافئة
Straw walkers	رداخات
Stubble-mulch plows	محاريث الجذامة
Swath	صف عريض

T

Tailings	رجيع
Tension ratio	نسبة الشد
Theoretical considerations	اعتبارات نظرية
aerodynamic concepts	مفاهيم الديناميكا الهوائية
aerodynamic properties of blueberries	خواص الديناميكا

الهوائية للتوت الأزرق

معامل الشد	drag coefficient
سرعة حدية	terminal velocity
خواص الديناميكا الهوائية للفراولة	aerodynamic properties of strawberries
معامل الشد	drag coefficient
سرعة حدية	terminal velocity
الفصل أثناء الحصاد	detachment during harvest
أساليب (أنواع) الاهتزاز	modes of vibration
زيتون	olives
الأسلوب البندولي	pendular mode
فراولة	strawberries
أسلوب الإمالة	tilting mode
أسلوب اهتزازي	vibrational mode
أساسيات الدفع وهزازات الأشجار	fundamentals of bush and treeshakers
هزاز ذو كتلتين متحركتين	double moving mass shaker
معادلة لاجرانج	Lagrange's equation
درجات حرية متعددة	multi-degree of freedom
قدرة الهزاز	shaker power
نسبة التضاؤل	damping ratio
ذبذبة الإثارة	excitation frequency
قوة التوازن	force balanced
الذبذبة (تردد) الطبيعية	natural frequency
حل لحالة الاستقرار (خاص)	steady state(particular)solution

حل الحالة الانتقال (مكمل) transient(complementary)solution

هزاز ذو كتلة واحدة متحركة single moving mass shaker

هزاز ذو ثلاث كتل متحركة three moving mass shaker

قوة توازن force balanced

نماذج هز في اتجاهين (مستويين) two-dimensional shaking patterns

نماذج التصادم والتهشم الميكانيكي impact models and mechanical damage

تهشم ميكانيكي mechanical damage

استجابة قوة التصادم impact force response

معامل الارتداد coefficient of restitution

نماذج التصادم – تطبيقات impact models_applications

تفاح apple

توت أزرق blueberries

نموذج كلفن Kelvin model

نموذج ماكسويل Maxwell model

خوخ peaches

كمثرى pear

التشكل الدائم للفاكهة permanent fruit deformation

نماذج التصادم مع مؤثرات الصلابة والتضاؤل impact models with firmness and damping effects

حل مكمل complementary solution

معامل التضاؤل damping factor

نموذج كلفن Kelvin model

نموذج ماكسويل Maxwell model

particular solution	حل خاص
Threshing cylinders	أسطوانات (درافيل) الدراس
Tillage	حراثة
Tilt angle	زاوية الميل
Timeliness	الوقت الأمثل
coefficient	معامل
costs	تكاليف
Tire	إطار (عجلة)
aspect ratio	نسبة الطول إلى العرض
bias/biased ply	تيلة منحرفة
classification codes	رموز التصنيف
deflection	انحناء
diameter	قطر
loaded radius	نصف قطر محمل
radial ply	تيلة نصف قطرية
rolling radius	نصف قطر التدحرج
section height	ارتفاع المقطع
section width	عرض المقطع
slip (See Traction)	انزلاق (انظر الشد)
tangential pull	شد مماس
Torque	عزم التواء
brake	فرملي
friction	احتكاكي
indicated	بياني
peak	ذروة (قمة)
reserve	مخزون

traction-limited	شد – محدود
Traction	شد
aids	مساعدات (معينات)
and slip	والانزلاق
and soil compaction	ودمج التربة
and soil cone index	ومؤشر مخروط التربة
dynamic weight coefficient	معامل الوزن الدينامي
efficiency	كفاءة
gross traction ratio	نسبة الشد الإجمالية
models	نماذج
motion resistance ratio	نسبة مقاومة الحركة
net traction ratio	نسبة الشد الصافية
wheel numeric	ترقيم الإطارات
Tractive	الشد
efficiency	كفاءة
force	قوة
Tractor	جرار
engines	محركات
hitches (See Hitches)	شبك (انظر شبك)
power take off	مأخذ القدرة
testing	اختبار
tires (See Tires)	إطارات (انظر إطارات)
Transplanter	آلة شتل
dibble	في جور
ferris-wheel	عجلة طافية
performance	أداء

roll-feed	تغذية بالأسطوانة
roll-type	النوع الأسطواني
trays	صواني
Turbocharger	شاحن تربيني
and engine versatility	والمحركات متعددة الاستخدام
boost	تعزيز
compressor	ضاغط
compressor efficiency	كفاءة الضاغط
intercooler (aftercooler)	مبرد إضافي
pressure ratio	نسبة الضغط
temperature ratio	نسبة درجة الحرارة
turbine	تربيني
Two wheel drive (2WD)	ثنائي الدفع

U

Universal joint	وصلة جامعة
Useful soil forces	القوى النافعة للتربة

V

V-belts	سيور على شكل حرف (V)
Valves	صمامات
closed center	مركز مغلق
cracking pressure	ضغط التصدع
differential pressure compensating (DPCV)	معادلة لفرق الضغط
direct-acting relief	تأثير مباشر
directional control	تحكم في الاتجاه

flow divider	مقسم سريان
open center	مركز مفتوح
pilot-operated relief	تشغيل دليلي
pressure compensated	معادل للضغط
pressure override	تجاوز الضغط
priority	أولوية
stroke control	تحكم في المشوار
tandem center	مركز مرادف
throttling	خانق
timing	توقيت
volume control	تحكم في الحجم
Variable speed drive	نقل الحركة بسرعة متغيرة
Vertical force	قوة رأسية
Viscosity, hydraulic fluid	لزوجة، مائع هيدرولي
Volume (in engines)	حجم (في المحركات)
clearance	خلوص
displacement	إزاحة
maximum gas	أقصى حجم للغاز
Volume	حجم
mean diameter	قطر متوسط
median diameter	قطر وسيط

W

Weight	وزن
dynamic	دينامي
coefficient	معامل

ستاتي	static
منقول	transfer
ردود الفعل الاستاتية على العجلة	static wheel reactions
ترقيم الإطارات (انظر الشد)	Wheel numeric (See Traction)
صف (ضيق)	Windrow
لاقط الصف	Windrow pick-up
آلة تصفيف	Windrower
تصفيف	Windrowing

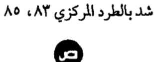
كشاف الموضوعات



د

ر

ز



ع

ف

ق



هـ

و

نبذة عن المترجمين

الأستاذ الدكتور/ صالح عبدالرحمن السحيباني

- ولد في مدينة البدائع بالقصيم
- حصل على بكالوريوس الهندسة الميكانيكية من كلية الهندسة ـ جامعة الملك سعود عام ١٣٩٤هـ (١٩٧٤م).
- عُين معيداً بقسم الهندسة الزراعية ـ كلية الزراعة ـ جامعة الملك سعود (جامعة الرياض سابقاً) عام ١٣٩٤هـ (١٩٧٤م).
- حصل على شهادة الماجستير في الهندسة الزراعية (هندسة الآلات والقوى الزراعية) من جامعة نبراسكا بالولايات المتحدة الأمريكية عام ١٣٩٨هـ (١٩٧٨م).
- حصل على شهادة الدكتوراه في الهندسة الزراعية (هندسة الآلات والقوى الزراعية) من جامعة نبراسكا بالولايات المتحدة الأمريكية عام ١٤٠٣هـ (١٩٨٣م).
- عمل أستاذاً مساعداً بقسم الهندسة الزراعية بكلية الزراعة ـ جامعة الملك سعود ، وتمت ترقيته الى أستاذ مشارك عام ١٤١٠هـ (١٩٨٩م). ثم تمت ترقيته لدرجة أستاذ عام ١٤١٦هـ (١٩٩٦م).
- عمل منسقاً لبرنامج التعاون المشترك بين كلية الزراعة ـ جامعة الملك سعود ـ وكلية سلسو معهد كرانفيلد للتكنولوجيا في الفترة من عام ١٤٠٤هـ الى ١٤١٢هـ (١٩٨٤م ـ ١٩٩٢م).
- عُين رئيساً لقسم الهندسة الزراعية من عام ١٤٠٦هـ الى عام ١٤١١هـ ، وفي عام ١٤١١هـ عُين وكيلاً لكلية الزراعة ثم عميداً لها في عام ١٤١٢هـ (١٩٩١م).
- قام بالعديد من البحوث التي تناولت إدارة الآلات الزراعية وتصميم الآلات وكذلك أجهزة القياس لاختبار أداء الآلات والجرارات الزراعية

الأستاذ الدكتور/ محمد فؤاد إسماعيل وهبي

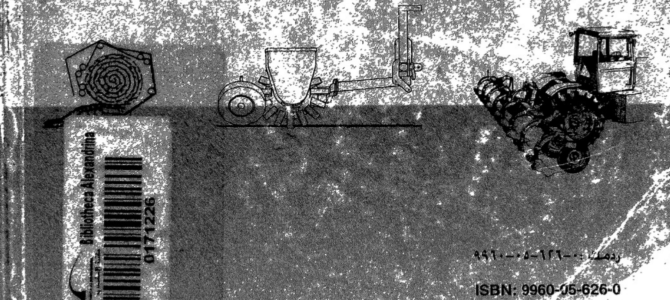
- أستاذ بقسم الهندسة الزراعية ـ كلية الزراعة ـ جامعة الملك سعود.
- مواليد محافظة الإسكندرية عام ١٩٥٠م ـ جمهورية مصر العربية.
- حاصل على بكالوريوس الهندسة الزراعية بمرتبة الشرف من جامعة الإسكندرية عام ١٩٧١م.
- حصل على درجة الماجستير في الهندسة الزراعية عام ١٩٧٦م من جامعة الأزهر بالقاهرة.
- نال درجة الدكتوراه في الهندسة الزراعية عام ١٩٨٢م من جامعة ولاية أيوا الأمريكية.
- عمل بجامعة الأزهر منذ عام ١٩٧٢م وحتى عام ١٩٨٩م ثم بجامعة الملك سعود منذ عام ١٩٨٩م، وله العديد من البحوث العلمية في مجال القوى والآلات الزراعية والطاقة المزرعية ، ويقوم بتدريس العلوم ذات العلاقة بالهندسة الزراعية.

الدكتور / عبدالرحمن بن عبدالعزيز الجنوبي

- أستاذ مشارك بقسم الهندسة الزراعية ـ كلية الزراعة ـ جامعة الملك سعود بالرياض.
- مواليد سبت العلاية عام ١٣٨٣هـ (١٩٦٣م).
- حصل على بكالوريوس الهندسة الزراعية من كلية الزراعة ــ جامعة الملك سعود بالرياض عام ١٤٠٦هـ.
- عُين معيداً بقسم الهندسة الزراعية ـ كلية الزراعة ـ جامعة الملك سعود عام ١٤٠٦هـ.
- حصل على درجة الماجستير في الهندسة الزراعية عام ١٤١١هـ من جامعة ولاية أوكلاهوما بالولايات المتحدة الأمريكية.
- حصل على درجة الدكتوراه في الهندسة الزراعية عام ١٤١٣هـ من جامعة ولاية أوكلاهوما بالولايات المتحدة الأمريكية.
- عمل أستاذاً مساعداً بقسم الهندسة الزراعية ـ كلية الزراعة ـ جامعة الملك سعود وتمت ترقيته إلى أستاذ مشارك عام ١٤١٨هـ.
- قام بالعديد من البحوث التي تناولت أجهزة القياس الدقيقة وتحليل الصور الضوئية.

الدكتور/ عبدالله مسعد زين الدين

- مواليد محافظة البحيرة عام ١٩٦٠م ـ جمهورية مصر العربية.
- حصل على بكالوريوس الزراعة من كلية الزراعة ـ جامعة الإسكندرية ـ قسم الهندسة الزراعية عام ١٩٨١م.
- عُين معيداً بقسم الهندسة الزراعية ـ كلية الزراعة ـ جامعة الإسكندرية عام ١٩٨١م.
- حصل على شهادة الماجستير في الهندسة الزراعية (هندسة الآلات والقوى الزراعية) من جامعة الإسكندرية عام ١٩٨٥م.
- حصل على شهادة الدكتوراه في الهندسة الزراعية (هندسة الآلات والقوى الزراعية) إشراف مشترك بين جامعة الإسكندرية وجامعة نوفاسكوشيا بكندا عام ١٩٩٠م.
- عمل مدرساً بقسم الهندسة الزراعية بكلية الزراعة ـ جامعة الإسكندرية عام ١٩٩١م، ثم تمت ترقيته إلى أستاذ مساعد عام ١٩٩٦م.
- عمل بوظيفة أستاذ مساعد بقسم الهندسة الزراعية ـ جامعة الملك سعود ـ الرياض ـ المملكة العربية السعودية لمدة عامين ١٩٩٤ ـ ١٩٩٦م.
- مُنح عدة منح كمهام علمية إلى كندا وأمريكا وقام بالعديد من البحوث التي تناولت مشاكل استخدام الآلات الزراعية وتصميم الآلات وكذلك أجهزة القياس لاختبار أداء الآلات.



ردمك: ٩٩٦٠-٠٥-٦٢٦-٠

ISBN: 9960-05-626-0